

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky**

**Analýza chování optických vláken pomocí DSTS - a
Analysis of Optical Fibers Behaviour with the Help of DSTS - a**

2016

Bc. Stanislav Lovecký

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Stanislav Lovecký**
Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie
Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika
Téma: **Analýza chování optických vláken pomocí DSTS-a**
Analysis of Optical Fibers Behaviour with the Help of DSTS-a

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Práce bude kolektivně rozdělena do tří spolu souvisejících částí, přihlášení studenti jsou:

Bc. Stanislav Lovecký, Bc. Petr Zobaník a Bc. David Hájek.

DSTS systémy patří k nejperspektivnějším vláknově optickým systémům pro monitorování mechanických vlastností optických vláken. Pro tuto práci se řiďte následujícími body:

1. Popište princip činnosti DSTS systémů.
2. Změřte Brillouinové frekvence různých typů optických vláken při proměnném mechanickém zatížení.
3. Vyhodnoťte získané závislosti a stanovte empirické relace popisující tyto závislosti.

Seznam doporučené odborné literatury:

[1] Udd, E., Spillmann, W.B.: Fiber Optic Sensors. J.Wiley and Sons, New Jersey 2011, ISBN 987-0-470-12684-4


[2] Podle pokynů vedoucího práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016


doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 27. dubna 2016


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval prof. RNDr. Vladimírovi Vašinkovi, CSc. za cenné rady, ochotu, trpělivost a čas věnovaný odbornému vedení této diplomové práce. Dále Ing. Marcelovi Fajkusovi za odbornou pomoc, cenné rady a konzultace při realizaci a vypracování této diplomové práce.

Také bych touto cestou rád poděkoval své rodině a přítelkyni za psychickou podporu a za trpělivost po celou dobu mého studia.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vláknově optickými senzory při použití distribuovaného systému DSTS, který pracuje na stimulovaném Brillouinově rozptylu. Tímto systémem je v práci měřeno mechanické namáhání optického vlákna. Cílem je analýza chování optických vláken a proměření Brillouinovských frekvencí různých typů optických vláken při proměnném mechanickém namáhání. Analýza naměřených Brillouinovských frekvencí bude vyhodnocena v tabulkách a grafech, které budou zpracovány v programu Matlab. Tato analýza nám bude sloužit k zjištění, zda je možné použít telekomunikační optická vlákna jako vláknově optický senzor, případně jakým způsobem ovlivňuje jejich fixace naměřenou Brillouinovskou frekvenci. Pokud by se nám tento předpoklad potvrdil, bylo by možné nahradit speciální optická vlákna, která jsou podstatně dražší klasickými telekomunikačními vlákny. Bylo by zde také možné využít již použitá optická vlákna, čímž by se také uspořila energie na výrobu nových optických vláken. Jsou zde tedy důvody jak finanční, tak ekologické.

Klíčová slova

Optovláknový distribuovaný systém; DTS systém; DSTS systém; stimulovaný Brillouinův rozptyl; optické vlákno; vláknově optický senzor; mechanické namáhání

Abstract

The diploma thesis deals with the fiber optic sensors while using a distributed system DSTS which works on Stimulated Brillouin Scattering. In the thesis the mechanical stress of the optical fiber is measured by this system. The main aim of the diploma thesis is an analysis of behavior of optical fibers and a measuring of Brillouin frequencies of different types of optical fibers at a variable mechanical stress. The analysis of recorded Brillouin frequencies will be assessed in the tables and graphs processed by the program Matlab. This analysis ascertains whether it is possible to use telecommunication optical fibers as a fiber optic sensor, and how their fixation influences the recorded Brillouin frequencies. If this assumption is confirmed, it will be possible to replace the more expensive special optical fibers with classic telecommunication fibers. Moreover, it will also be possible to utilize already used optical fibers saving thus energy required to produce new optical fibers. In other words, the reasons are both financial and ecological.

Key words

fiber-optic distributed system; DTS system; DSTS system; stimulated Brillouin scattering; optical fiber; fiber optic sensor; mechanical stress

Obsah

Seznam použitých zkratk	- 9 -
Úvod	- 10 -
1 Rozptyl světla	- 11 -
1.1 Základní typy rozptylů	- 11 -
1.1.1 Lineární rozptyl	- 11 -
1.1.2 Rayleighův rozptyl	- 12 -
1.1.3 Mieův rozptyl	- 13 -
1.2 Nelineární rozptyl	- 14 -
1.2.1 Ramanův rozptyl	- 14 -
1.2.2 Brillouinův rozptyl	- 15 -
2 Rozptyly světla v optických vláknech	- 18 -
2.1 Stimulované rozptyly	- 18 -
2.2 Stimulovaný Brillouinův rozptyl (SBS)	- 19 -
2.3 Stimulovaný Ramanův rozptyl (SRS)	- 22 -
3 Optovláknové distribuované systémy	- 25 -
3.1 DTS systém pracující na Stimulovaném Ramanově rozptylu	- 25 -
3.2 DSTS systém pracující na Stimulovaném Brillouinově rozptylu	- 27 -
4 Praktická část	- 29 -
4.1 Úvod a cíle praktické části	- 29 -
4.2 Návrh šablon pro připevnění optických vláken	- 29 -
4.2.1 Návrh plechové podložky sloužící k mechanickému namáhání	- 33 -
4.2.2 Výroba stěrky pro podkladovou vrstvu	- 34 -
4.2.3 Výroba stěrky pro krycí vrstvu - ovál, trojúhelník	- 35 -
4.3 Aplikace lepidla a optického vlákna k přípravku na měření	- 35 -
4.4 Kalibrace DSTS pro měření Brillouinovských frekvencí	- 40 -
5 Zpracování a rozbor naměřených výsledků	- 43 -
5.1 Optické vlákno G.652.D	- 43 -
5.1.1 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva trojúhelník	- 43 -
5.1.2 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva 1 mm ovál	- 46 -
5.1.3 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva 0,5 mm ovál	- 47 -
5.1.4 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva 0,2 mm ovál	- 50 -
5.1.5 Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva trojúhelník	- 53 -
5.1.6 Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva 1 mm ovál	- 55 -

5.1.7	Lepidlo: Epoxid. pryskyřice, krycí vrstva: nesespecifická (1. část) -	58 -
5.1.8	Lepidlo: Epoxid. pryskyřice, krycí vrstva: nesespecifická (2. část) -	61 -
5.2	Optické vlákno ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG	63 -
5.2.1	Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: trojúhelník	63 -
5.2.2	Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 1 mm ovál	64 -
5.2.3	Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,5 mm ovál	66 -
5.2.4	Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,2 mm ovál	67 -
5.2.5	Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: trojúhelník	69 -
5.2.6	Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: 1mm ovál.....	70 -
5.3	Optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB	71 -
5.3.1	Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: trojúhelník	71 -
5.3.2	Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 1,0 mm ovál	71 -
5.3.3	Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,5 mm ovál	72 -
5.3.4	Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,2 mm ovál	72 -
5.3.5	Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: trojúhelník	72 -
5.3.6	Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: 1 mm ovál.....	72 -
5.4	Optické vlákno s ID cívky 516220	72 -
5.4.1	Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: trojúhelník	72 -
5.4.2	Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 1 mm ovál	72 -
5.4.3	Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,5 mm ovál	72 -
5.4.4	Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,2 mm ovál	72 -
5.4.5	Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: trojúhelník	72 -
5.4.6	Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: 1 mm ovál.....	73 -
	Závěr	74 -
	Použitá literatura	76 -
	Seznam příloh	78 -

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
DTS	Distribučný teplotní systém
DSTS	Distribučný teplotní a napěťový systém
SRS	Stimulovaný Ramanův rozptyl
SBS	Stimulovaný Brillouinův rozptyl

Úvod

Tématem této diplomové práce je analýza chování optických vláken pomocí DSTS systému. Zadání práce obsahuje tři body. Prvním je popis činnosti DSTS systémů. Druhým bodem zadání je změřit Brillouinovské frekvence různých typů optických vláken při proměnném mechanickém zatížení. Posledním bodem je vyhodnocení získaných závislostí a stanovení empirických relací popisujících tyto závislosti.

Diplomová práce je složena ze dvou hlavních částí, z teoretické a praktické části. Teoretická část je složena ze tří hlavních kapitol. V první kapitole se zabývám rozptylem světla. Jsou zde uvedeny dva základní typy rozptylů, lineární (Rayleighův a Mieův) a nelineární (Ramanův a Brillouinův) rozptyl.

V úvodu druhé kapitoly jsou popsány rozptyly světla v optických vláknech. Dále se zde detailněji zabývám Stimulovanými rozptyly, protože právě na těchto rozptylech je založen princip měření s distribuovanými systémy. Distribuovaný systém DSTS, který byl v této práci využíván pro měření mechanického namáhání, je založen na stimulovaném Brillouinově rozptylu (SBS). Distribuovaný systém DTS je založen na stimulovaném Ramanově rozptylu (SRS).

Třetí kapitola teoretické části popisuje optovláknové distribuované systémy. Jsou zde popsány vlastnosti a parametry DTS systémů a DSTS systémů. Dále jsou zde také uvedeny kategorie rozdělení optických vláken, které jsou používány jak senzor.

Druhá, obsáhlejší část celé práce, se týká praktické části. Praktická část je rozdělena do dvou kapitol (kapitola 4. Praktická část a kapitola 5. Zpracování a rozbor naměřených výsledků). Hlavním úkolem této práce je proměřit Brillouinovské frekvence při proměnném mechanickém namáhání optického vlákna.

Kapitola číslo 4 je rozdělena na čtyři části. V kapitole 4.1 je popsán úvod a stanoveny cíle praktické části. Protože bylo potřeba měřit Brillouinovské frekvence při proměnném mechanickém namáhání, bylo potřeba optické vlákno mechanicky namáhat, k čemuž byl již dostupný přípravek. Bylo však nutné optické vlákno k přípravku uchytit. Toto bylo provedeno pomocí různých lepidel. Druhá část (kapitola 4.2) popisuje grafický a slovní návrh šablon pro připevnění optických vláken, a také je zde uvedeno jedno z úvodních měření. Dále jsou v této části popsány a detailně zobrazeny hotové výrobky vyrobených přípravků sloužících k přesné aplikaci lepidel. Kapitola 4.3 obsahuje technologický postup aplikace lepidla a optického vlákna k přípravku na měření, jsou zde také uvedeny druhy a výrobci použitých lepidel sloužící k uchycení optického vlákna. Také je zde uvedeno označení použitých (mechanicky namáhaných) optických vláken. V kapitole 4.4 je pak podrobně popsána kalibrace DSTS systému pro měření samotného mechanického namáhání. Je zde vysvětleno schéma zapojení i jednotlivé kroky nutné pro správnou kalibraci přístroje.

Pátá kapitola obsahuje zpracování a rozbor naměřených výsledků. Je členěna do čtyř částí, kdy každá z nich obsahuje naměřené hodnoty pro dané optické vlákno, které jsou zde uvedeny v tabulkách. Z každé tabulky je vykresleno celkem šest grafů, které jsou buď uvedeny přímo v diplomové práci, nebo se nachází v přílohách. V grafech jsou také zobrazeny regresní křivky, ze kterých byly stanoveny empirické relace popisující tyto závislosti. Dále jsou zde uvedeny tabulky s koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti. Tabulky také obsahují regresní rovnici, pomocí které byla vypočítána regresní křivka.

1 Rozptyl světla

Rozptýlené světlo je projev společného vlivu záření s optickými nehomogenitami prostředí. Tyto nehomogenity mají za následek to, že se rozptýlené světlo šíří odlišným směrem než původní, nerozptýlené světlo.

Rozptyl světla je závislý na vlnové délce rozptýleného světla, dělí se na dva základní typy, lineární a nelineární rozptyl. Do skupiny lineárních rozptylů je zařazen Rayleighův rozptyl a Mieův rozptyl. Skupina nelineárních rozptylů obsahuje také dva typy, Ramanův a Brillouinův rozptyl. Základní rozdíl mezi těmito dvěma rozptyly je takový, že u lineárního rozptylu se nemění vlnová délka rozptýleného světla, zatímco u nelineárního rozptylu se tato vlnová délka mění [1].

Díky rozptylu světla můžeme makroskopicky pozorovat velké množství objektů. Tento jev je tedy pro nás nepostradatelný. Rozptyl světla má různé vlastnosti, které se odvíjí od materiálu a druhu povrchu, na kterém rozptyl světla nastane. Pokud bude materiál, na kterém se světlo rozptýlí například matný, bude mít toto rozptýlené světlo jiné vlastnosti než světlo, které se rozptýlí na materiálu lesklém. Vlastnosti rozptýleného světla udává také velikost částic určitého povrchu.

Elektrické pole elektromagnetické vlny šířící se prostředím působí na elektrony atomů a molekul. Díky těmto elektronům jsou vyzařovány sekundární vlny. V homogenním prostředí se rovinná světelná vlna šíří jen ve směru přímém, do stran se v tomto případě světelná vlna nerozptyluje. Pokud se tedy světelná vlna šíří v ideálním homogenním prostředí, světelná vlna se nerozptýlí z toho důvodu, že v tomto ideálním homogenním prostředí jsou stejné elektrony, co se týče jejich elementárního objemu. Z toho vyplývá, že pokud budou seskládány sekundární vlny v homogenním prostředí, pak se bude světelná vlna šířit pouze v přímém směru [2].

Když se na rozptýlené světlo budeme dívat makroskopicky, pak bude rozptyl světla závislý pouze na nehomogenním prostředí. Rozptyl světla jsme schopni pozorovat okem, pokud se šíří světlo ve viditelném oboru a pokud například voda obsahuje bublinky vzduchu, případně drobné, rozptýlené částičky. Když je však homogenita prostředí narušena u vysoce kvalitního skla, případně ve velmi čisté vodě, pak rozptyl světla pouhým okem nejsme schopni pozorovat. Také jej můžeme pozorovat v tom případě, když jsou v určitém prostředí rozptýlené částičky menší než vlnová délka λ . Tyto rozptýlené částičky však okem nevidíme, a toto prostředí se nazývá prostředí matné [3].

1.1 Základní typy rozptylů

Do dvou základních typů rozptylů světla patří lineární a nelineární rozptyl. Mezi lineární rozptyly řadíme Rayleighův rozptyl a Mieův rozptyl. K nelineárním rozptylům světla pak řadíme Ramanův a Brillouinův rozptyl.

1.1.1 Lineární rozptyl

Lineární rozptyl je charakteristický tím, že se rozptýlené světlo šíří o stejnou vlnovou délku, jako světlo před rozptýlením.

1.1.2 Rayleighův rozptyl

Rayleighův rozptyl je způsoben vzájemným působením světelných pulsů s materiálovými nečistotami. Zákonitosti tohoto rozptylu světla poprvé experimentálně zkoumal J. Tyndall (1969). Rayleighův rozptyl byl však objasněn až v roce 1899 J. W. Rayleighem.

„Ukázal, že velikost rozptýleného světla jako funkce souřadnice r Rozptyl světla úhlu β tj. $I(r, \beta)$ je přímo úměrná čtvrté mocnině kruhové frekvence světelné vlny ω_4 . Jinak řečeno, intenzita rozptýleného světla je nepřímo úměrná čtvrté mocnině vlnové délky λ_4 [2].

Z předchozího odstavce je možné usoudit, že se rozptyluje více záření, které je krátkovlnné, a to proto, že rozptýlené světlo bílé barvy má v matném prostředí lehce modrý odstín. Když dopadá záření o této vlnové délce na takovéto rozptylující prostředí, které nebude pohlceno vzorkem a nemůže tedy elektron dovést do excitovaného stavu, pak při rozptylu tohoto záření nedojde ke změně vlnové délky λ (případně kruhové frekvence ω). Rozptyl světla bez změny frekvence je nazýván Rayleighův rozptyl a je nejvíce patrný při průchodu plynem [2].

Absenci změny frekvence, která je přítomna u Rayleighova rozptylu, můžeme vysvětlit na základě fungování principu monochromatického záření. Toto záření je schopno rozkmitat nepolární molekulu složky. Tato složka dokáže s pomocí elektrického pole polarizovat a vytvořit indukovaný dipól, který má stejnou frekvenci, jako je frekvence elektrické i magnetické složky záření. Tímto způsobem dojde k převzetí energie z fotonu na molekulu. Tato energie, kterou molekula přijme, se však okamžitě ztrácí, a to z toho důvodu, že (...) „vyzařuje záření stejné frekvence, ale nižších amplitud do všech směrů a vrací se do původního energetického stavu” [4].

Na Rayleighově rozptylu je založeno měření sloužící k analýze a proměřování optických tras, technologie sloužící k tomuto měření se nazývá OTDR (Optical Time Domain Reflectometer). Jako příklad Rayleighova rozptylu se také často používá rozptýlené sluneční záření v čisté atmosféře.

Lze také konstatovat, že Rayleighův rozptyl vzniká na částicích, které jsou mnohokrát menší, oproti velikosti vlnové délky rozptýleného světla.

Rayleighova rovnice:

$$i_o = I_o \frac{\pi^2}{\varepsilon_0^2} \frac{\alpha^2}{\lambda^4} \frac{F(\theta)}{r^2} \quad (1.1)$$

i_o – intenzita světla rozptýleného jednou částicí pod úhlem θ ,

I_o – celková intenzita dopadajícího záření,

ε_0 – permitivita vakua ($8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-1}$),

α – polarizovatelnost částice,

λ – vlnová délka primárního záření v daném prostředí,

θ – úhel pozorování, tj. úhel sevřený primárním paprskem a paprskem rozptýleného světla,

$F(\theta)$ – je funkce úhlu pozorování, jehož tvar závisí na charakteru primárního paprsku (polarizace) [5].

Rayleighův rozptyl je velmi významný jev v optických vláknech, především v oblasti materiálových ztrát. Ty jsou způsobeny absorpcí a rozptylem světla. Tento rozptyl je u optických vláken stěžejní, protože právě on vyvolá v optických vláknech rozptyl. „*Jedná se o rozptyl záření na nehomogenitách rozměrově menších než je vlnová délka optického záření.*“ Tyto nehomogenity se u optických vláken nedají potlačit, protože jsou způsobeny výkyvy indexu lomu prostředí (oxid křemíku SiO_2), které jsou součástí procesu při tunutí skla. Jsou však tak zanedbatelné, že způsobují jen minimální ztráty. Velikost takového útlumu je možné určit vztahem:

$$\alpha_R = \frac{C_1}{\lambda^4} \quad (1.2)$$

kde:

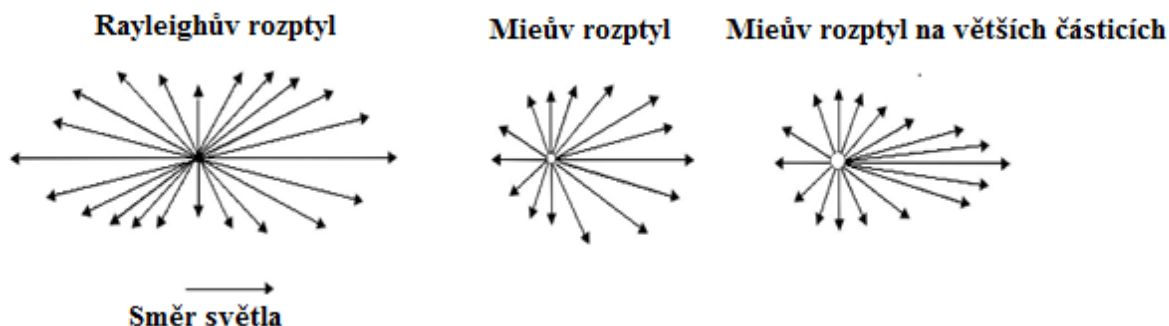
C_1 je koeficient Rayleighova rozptylu, který je parametrem každého materiálu (C_1 křemenného skla je $0,802 \cdot 10^{-21}$) [5].

1.1.3 Mieův rozptyl

Mieův rozptyl je pojmenován po svém objeviteli, německém fyzikovi, Gustavu Mieovi. Tento rozptyl zapříčiňují nehomogenity, které jsou velikostně srovnatelné s vlnovou délkou rozptýleného světla a má velkou úhlovou závislost. V optických vláknech má Mieův rozptyl na svědomí mikroskopické bublinky, které jsou po stěnách optického vlákna. Dále se na tomto rozptylu podílí napětí ve vlákne, nepravidelný průměr jádra, nečistoty uvnitř vlákna a další parametry, které mají za následek změnu vlnové délky světla. V již zmiňovaných optických vláknech způsobují Mieův rozptyl hlavně nedokonalosti spojené s výrobním procesem [7].

Tento rozptyl je proti Rayleighovu obecnější a zahrnuje všechny poměry vůči vlnové délce záření. Mieův rozptyl je oproti Rayleighovu matematicky daleko složitější popsat. U optických vláken se tedy častěji používá Rayleighova rozptylu (pokud jsou splněny podmínky pro vznik), který je ovšem méně přesný než Mieův rozptyl.

Obrázek 1.1 znázorňuje rozdíl Rayleighova a Mieova rozptylu. Zde je vidět, že Rayleighův rozptyl se rozptyluje do zpětného i dopředného směru rovnoměrně, zatímco světlo rozptýlené Mieovým rozptylem se dále šíří pouze převážně směrem dopředným [8].



Obrázek 1.1: Rayleighův a Mieův rozptyl

1.2 Nelineární rozptyl

Nelineární rozptyl je způsoben přechodem optického výkonu, přechodem světelného záření z jednoho vidu do jiného a vzniká především v optickém vlákne. Po přechodu záření do jiného vidu se bude výkon šířit stejným směrem, nebo směrem opačným, včetně změny frekvence původního záření (změna vlnové délky). Nelineární rozptyl je závislý na velikosti optického výkonu, který je pumpován do optického vlákna (obecně nejen do vlákna, ale i jiných materiálů). Aby tento rozptyl vznikl, je nezbytně nutné, aby hodnota optického výkonu pumpovaného do vlákna přesáhla prahovou hodnotu optického výkonu. „*Jedná se o tzv. nelineární útlumové mechanismy, které vznikají při vyšších hustotách optického výkonu v optických vláknech.*“ [9]. Existují dva typy nelineárního rozptylu. Ramanův rozptyl a Brillouinův rozptyl.

Nelineární jevy jsou také v optických vláknech využívány pro širokou škálu zařízení a systémů. Jako například vlastnosti úzko pásmového spektra Brillouinova zisku (Brillouin gain spektrum - BGS) a vysoký nelineární Brillouinův koeficient může vytvořit stimulovaný Brillouinův rozptyl (SBS). Ve vláknech je tento rozptyl ideální pro konverzi vlnové délky. Může potlačit frekvenční selektivitu, nebo také zesílit vlnu. Vliv teploty a napětí na maximální hodnotu zisku a Brillouinového frekvenčního posunu je považován za ideální vlastnost pro distribuované vláknové senzory. Mikrovlnné fotonické systémy byly vyvinuty pro využití úzkého pásma BGS. Z toho důvodu, aby výběrově zesilovaly pouze slabá optická postranní pásma, nesoucí údaje, a aby nedocházelo k poškození nemodulované nosné vlny. V přijímači se tyto dva signály spojí, a tak je možné zvýšit modulační index přijatého RF signálu.

Brillouinův rozptyl se může také použít na nedestruktivní analýzu útlumových charakteristik v optickém vlákne. Pomocí metody zpětného Brillouinova rozptylu (BOTDR), pomocí laserů s malým výkonem. Tyto metody vykazují oproti tradiční metodě OTDR vysoký dynamický rozsah. Metoda Brillouinova ovlivňování optické nosné (Optical Varrier Brillouin Processing OCBP) byla vyvinuta pro kontrolu amplitudy a fáze optické nosné a modulované vlny.

Tyto systémy jsou implementovány na potlačení optické nosné, nebo na kompenzaci poškození indukovaných disperzí v optických linkových traktech. Efektivní, úzkopásmové, Brillouinovské lasery s nízkofrekvenčním kolísáním byly vyvinuty pro aplikace sloužící k laserovým Doplerovským měřením rychlosti a dvoj fotonovou spektroskopii [10].

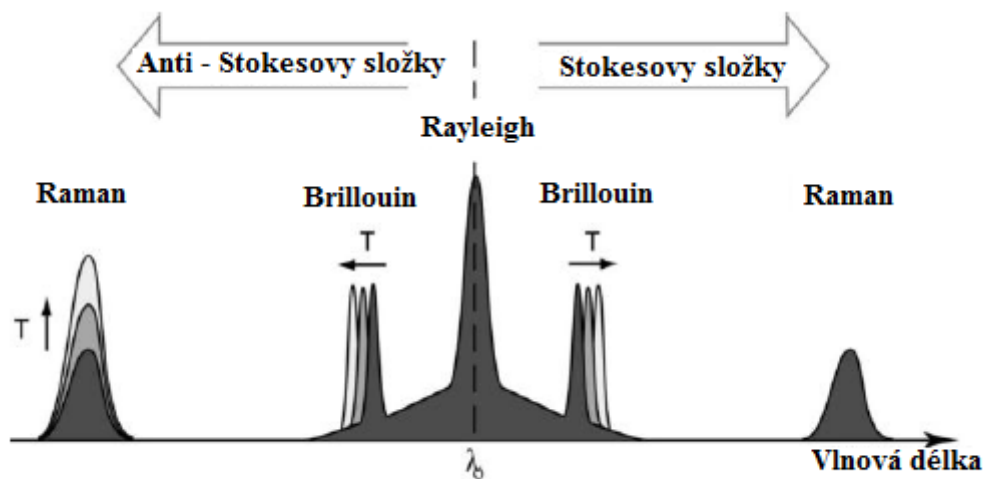
1.2.1 Ramanův rozptyl

Ramanův rozptyl poprvé zkoumal rakouský vědec Smekal, teoreticky jej zkoumali také další vědci (Dirac, Heisenberg a další). Později byl však zcela objasněn indickým vědcem C.V. Ramanem, který své výsledky zveřejnil v roce 1928, a později mu za tento objev byla udělena Nobelova cena.

Ramanův rozptyl reprezentuje interakci světelného pulzu s teplotně nabuzenými atomovými, případně molekulovými vibracemi. Pokud se srazí molekula dané látky s fotonem vstupujícího záření, pak nastane rozptyl světla. Určité množství původního záření (přibližně 10^{-8}) se podílí na nepružných srážkách fotonů s molekulami. Dopadající foton buď část své energie předá molekule, nebo od ní naopak část energie přijme. Tento fakt má za následek, že Ramanův rozptyl má jinou frekvenci než světlo, které bylo původně před rozptylem [2].

Rozdíl frekvence rozptýleného záření oproti nerozptýlenému je velmi významný. V optických vláknech SiO_2 je typická hodnota posunu frekvence o 13 THz. Posun frekvence 13 THz odpovídá posunu 100 nm, u vlnové délky 1550 nm. Velikost Ramanových Anti-Stokesových složek závisí na teplotě, zatímco Stokesovy složky prakticky vůbec citlivé na teplotu nejsou [11].

Na obrázku 1.2 je schematicky zobrazeno spektrum regresivně odražených rozptylů generovaných v každém bodě optického vlákna.

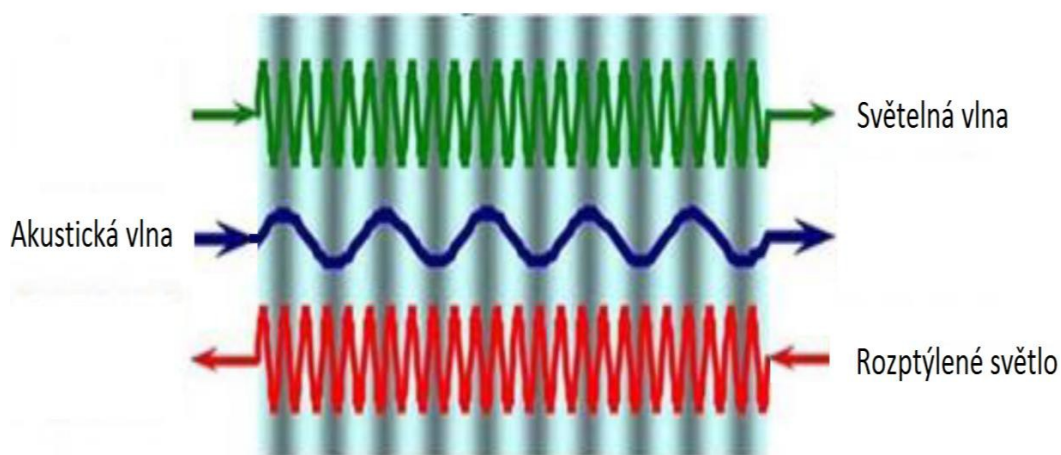


Obrázek 1.2: Schematické zobrazení jednotlivých rozptylů [11]

1.2.2 Brillouinův rozptyl

Tento rozptyl poprvé teoreticky popsal L. Brillouin a S. Mandelštam. Brillouinův rozptyl je způsoben vzájemným působením světelných pulzů a tepelně vybuzených akustických vln (nazýváme je také akustické fonony). Elektromagnetické (světelné) vlny jsou schopny se v kapalině nebo plynu a v pevných látkách spojit s různými typy vln (např. s akustickými). Díky pružné deformaci prostředí jsou schopny akustické vlny nepatrně ovlivňovat index lomu. Shodná pohybující se mřížka zpět odrazí malé množství dopadajícího světla a díky Dopplerovu jevu se změní frekvence nebo vlnová délka odraženého světla.

Odpovídající pohybující se mřížka odráží zpět malé množství dopadajícího světla a mění jeho frekvenci (nebo vlnovou délku) kvůli Dopplerovu jevu (změna vlnové délky a frekvence přijímaného oproti vysílanému signálu je způsobena vzájemnou rychlostí vysílače a přijímače) viz obrázek 1.3.



Obrázek 1.3: Brillouinův rozptyl

Velikost posunu frekvence je závislá na rychlosti, kterou se šíří akustická vlna. Znaménko velikosti posunu této frekvence udává, kterým směrem se akustická vlna šíří. Akustická vlna určuje i směr posuvu frekvence. Při dopadajícím světelném záření vznikne Brillouinův rozptyl o dvou odlišných frekvencích. Tyto frekvence se nazývají Stokesovy a Anti-Stokesovy složky. U SiO_2 vláken se Brillouinovská frekvence posune o 10 GHz, což je 0,1 nm při vlnové délce 1550 nm. Posun Brillouinovské frekvence závisí také na teplotě a tlaku [11].

Na Brillouinův rozptyl je také možno pohlížet jako na vzájemné působení akustické vlny a optické vlny, tedy kvantově-mechanicky. Na šířené světlo se můžeme dívat jako na soubor fotonů, to jsou částice, které mají stejnou energii, jako je energie jednoho fotonu:

$$E_F = \hbar \cdot \omega_F \quad (1.3)$$

a impulzem

$$P_F = \hbar \cdot k_F \quad (1.4)$$

kde:

ω_F – je kruhová frekvence světelné vlny,

k_F – je její vlnový vektor,

$\hbar = h / 2\pi$ – je redukovaná Planckova konstanta.

Na akustickou vlnu nahlížíme jako na soubor fononů (částic s energií):

$$E_A = \hbar \omega_A \quad (1.5)$$

a impulzem

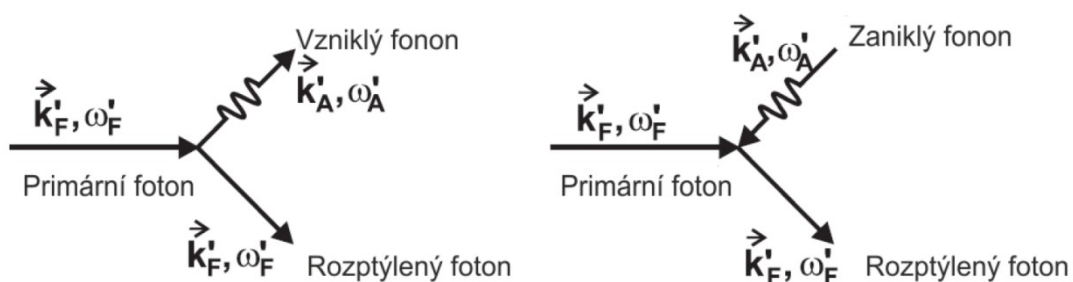
$$P_A = \hbar \cdot k_A \quad (1.6)$$

kde:

ω_A - je kruhová frekvence akustické vlny,

k_A - je její vlnový vektor.

Vzájemné působení pevné látky a světelné vlny vytváří proces, při kterém vzniká nový fonon a foton nebo opačný proces, kdy z fononu a fotonu vznikne nový foton (obrázek 1.4).



Obrázek 1.4: *Vznik a zánik fononu*

Pokud vznikne foton nebo zanikne fonon, pak v obou případech musí být dodržen zákon o zachování impulzu. Z toho plyne, že fotony a fonony, před srážkou musí být rovny energii fotonů a fononů po srážce.

Když se na vzájemné interakci světla s fonony podílejí optické fonony, jde o Ramanův rozptyl. Pokud se na této interakci podílí fonony akustické, jedná se o rozptyl Brillouinův [2].

2 Rozptyly světla v optických vláknech

Rozptyl světla v optickém komunikačním vlákně je stále přítomen, bez ohledu na optický výkon ve vlákně. Rozptyly světla v optickém vlákně je možné roztrždit do dvou skupin: spontánní rozptyl světla a stimulovaný rozptyl světla. Spontánní rozptyl nastane v podmínkách, kdy vlastnosti materiálu optického vlákna nejsou ovlivněny současným stavem elektrického pole. V případě dopadu světelného záření s dostatečnou intenzitou může být spontánní rozptyl intenzivnější. Spontánní a stimulovaný rozptyl může být výsledkem Ramanova, Rayleighova a Brillouinova rozptylu světla. Rayleighův rozptyl vzniká důsledkem fluktuací hustoty a může být označován jako rozptyl fluktuací entropie. Ramanův rozptyl vyplývá z interakce světla s vibračními stavy molekul v rozptylujícím médiu, ale můžeme na něj také nahlížet jako na rozptyl světla z optických fononů. Brillouinův rozptyl vzniká interakcí světla se šířícími se vlnami hustoty prostředí neboli akustickými fonony. Každý z těchto výše uvedených rozptylů je přítomen v optickém vlákně, protože se v každém optickém vlákně nachází mikroskopické chyby nebo fluktuace teploty. Ze všech tří typů rozptylů je Brillouinův rozptyl považovaný za dominantní nelinearitu optického vlákna [10].

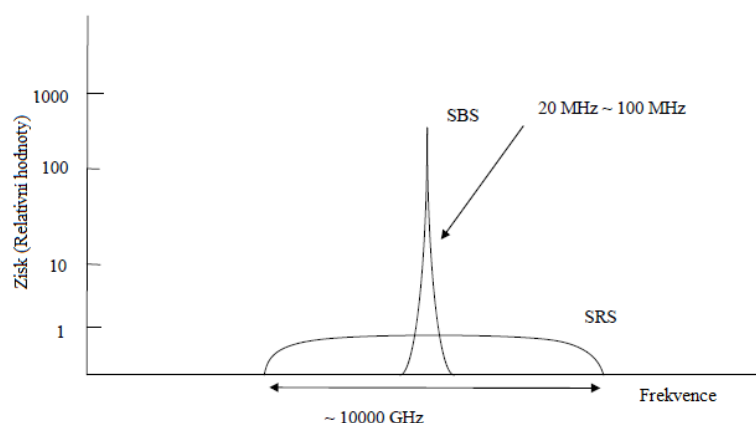
2.1 Stimulované rozptyly

Do stimulovaných rozptylů jsou zařazeny dva rozptyly. Stimulovaný Ramanův rozptyl (SRS) a stimulovaný Brillouinův rozptyl (SBS).

Hlavním rozdílem mezi stimulovaným Ramanovým rozptylem a stimulovaným Brillouinovým rozptylem je, že u SBS se rozptylu světla účastní fonony akustické, kdežto u SRS se rozptylu světla účastní fonony optické.

Díky výše uvedenému faktu se u stimulovaného Brillouinova rozptylu (SBS) záření rozptýlí jen ve zpětném směru tj. dozadu. Kdežto u stimulovaného Ramanova rozptylu (SRS) nastane rozptyl světla obousměrně (dopředný i zpětný rozptyl).

Další rozdíly jsou, že Brillouinův zisk je přibližně o jeden řád vyšší než Ramanův. A také Brillouinův frekvenční posun a šířka pásma zisku jsou o mnoho menší, než v případě stimulovaného Ramanova rozptylu (SRS). Na obrázku 2.1 jsou vidět rozdíly mezi SBS a SRS [12].



Obrázek 2.1: Porovnání SBS a SRS

Oba výše uvedené stimulované rozptyly (SBS i SRS) jsou použitelné v senzorce. Na jejich principech pracují systémy DTS - Distributed Temperature Sensing. Tento systém pracuje na Stimulovaném Ramanově rozptylu (SRS). DSTS - Distributed Strain Temperature Sensing, který pracuje na Stimulovaném Brillouinově rozptylu (SBS). Tyto rozptyly poskytují optický zisk s posunem frekvence [13].

2.2 Stimulovaný Brillouinův rozptyl (SBS)

Stimulovaný Brillouinův rozptyl (SBS - Stimulated Brillouin Scattering) je na rozdíl od Brillouinova rozptylu v praxi použitelný, a to u distribuovaných systémů, které jsou díky tomuto rozptylu schopny distribuovaně měřit jak teplotu, tak deformaci podél optického vlákna. Optické vlákno zde slouží jako senzor.

Při dostatečně vysokých vstupních výkonech přemění SBS světlo vstupující do vlákna na světlo rozptýlené, způsobí Stokesův posun a je výraznější jako Rayleighův rozptyl.

Stimulovaný Brillouinův rozptyl (SBS) je nelineární proces, který se v optickém vlákne vyvolá vzájemným působením monochromatického světla a akustických vln, které generují akustický fonon. U SBS dosáhneme stimulace tak, že Brillouinův rozptyl budeme stimulovat vhodným optickým zářením, a to takovým, které je energeticky velmi intenzivní (např. laser). Toto záření musí mít specifické předpoklady. Ty musí být takové, že se Stokesovo záření šíří v proti směru záření, které je do vlákna pumpováno. Maximální stimulace je pak dosaženo tehdy, když je frekvence Stokesova signálu a frekvence pumpovacího signálu přesně oddělena Brillouinovým posunem. Tento posun vznikne vzájemným působením akustického fononu a fotonu, kdy dojde k přenesení energie z pumpovaného signálu do Stokesova signálu. Díky tomuto faktu se zvýší intenzita zpětného rozptylu, a také se zvětší poměr signál/šum.

Pokud se proti sobě šíří dva optické signály, které jsou pumpované laserem, nastane stimulovaný Brillouinův rozptyl. Brillouinovský posun frekvence je úměrný rozdílu pumpovacího signálu a Stokesova signálu. Brillouinovský posun frekvence tvoří maximální zisk a větší zesílení Stokesova signálu. Brillouinův zisk se ve většině případů udává v procentech a kopíruje s profilem Brillouinova zisku v každém měřeném bodě snímaného optického vlákna [11].

Na obrázku 2.2 je znázorněn jev, který vyplývá z interakce mezi optickým polem a akustickým fononem v optickém vlákne. Tato interakce se realizuje prostřednictvím elektrostriekce, kde bude prostředí hustší v oblasti vysoké optické hustoty. Vstupující optické pole s dostatečnou intenzitou vzájemně působí s rozptýlenými elektrickými poli, což způsobuje změny hustoty a tlaku (elektrostriekce). Vstupující optické pole se pak rozptyluje na změnách indexu lomu, které vznikly jako důsledek změn hustoty. Rozptýlené světlo vykazuje Stokesův posun a interferuje se Stokesovým zářením, které způsobuje akustické poruchy. Vstupující světlo může přidat energii akustickým vlnám, protože interferuje s rozptýleným Stokesovým světlem, a tak výrazně zvyšuje pravděpodobnost rozptylu dopadajícího světla v důsledku Braggovské difrakce. Vzhledem k tomu, že se energie a hybnost po dobu rozptylu zachovávají, frekvence a vlnové vektory čerpací (vstupující) vlny rozptýlené a akustické jsou vyjádřeny vztahem:

$$\Omega_B = \omega_P - \omega_S, \quad \vec{q} = \vec{k}_P - \vec{k}_S, \quad (2.1)$$

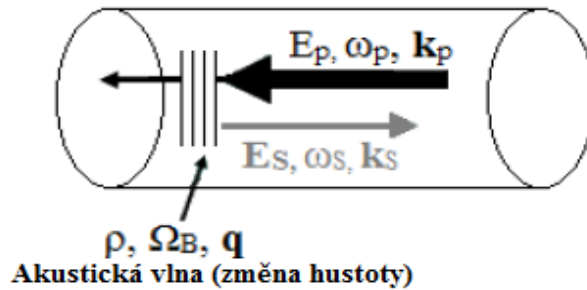
kde:

$\vec{\omega}_{p,s}$ a $\vec{k}_{p,s}$ jsou optické frekvence a vlnové vektory čerpací vlny a vlny se Stokesovým posunem. Brillouinova frekvence Ω_B a vlnový vektor akustického pole q navzájem souvisí prostřednictvím fononových disperzních vztahů:

$$\Omega_B = \left| \vec{q} \right| v_A \approx 2v_A \left| \vec{k}_p \right| \sin\left(\frac{\Theta}{2}\right) \quad (2.2)$$

kde:

v_A je rychlost zvuku v prostředí a Θ je úhel mezi čerpací vlnou a Stokesovými poli. Pokud jsou v jednomódovém optickém vlákne relativní hodnoty Θ a π rovny nule, pak je Brillouinův frekvenční posun určen vztahem $\nu_B = 2nv_A/\lambda_p$. Hodnoty typické pro frekvenční posun v optickém vlákne na vlnové délce 1550 nm jsou přibližně mezi 9 - 12 GHz [10].

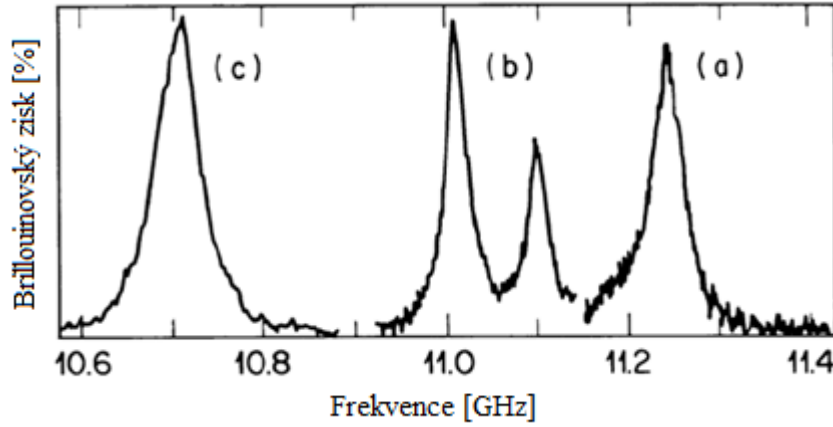


Obrázek 2.2: Stimulovaný Brillouinův rozptyl v optickém vlákne [4]

Závislost zesílení na frekvenci je možné popsat Brillouinovským ziskem spektra. Brillouinův zisk je důležitým parametrem, protože většina omezení nebo vlastností stimulovaného Brillouinova rozptylu může být z jeho hodnot posouzena. Pomocí tohoto zisku je možné například stanovit kritický výkon SBS, charakterizovat spektrum Brillouinova zisku, ale také fázový posun optického čerpacího signálu, který je indukovaný stimulovaným Brillouinovým rozptylem. V optickém vlákne je možné ovlivnit zisk spektra mechanickým napětím, nebo teplotou kdekoli podél vlákna. Je ale také možné ovlivnit spektrum zisku, a to změnou v návrhu optického vlákna. Konečná závislost akustického fononu T_B (tlumící čas akustické vlny zodpovědné za Brillouinův rozptyl) je příčinou frekvenční závislosti zesílení (g_B). Tento zisk můžeme popsat jako:

$$g_B(\omega) = \frac{g_B(\omega_B)}{1 + (\omega - \omega_B)^2 T_B^2} \quad (2.3)$$

Na obrázku 2.3 můžeme pozorovat, že Brillouinův posun ve vlákne (b) a (c) je menší, než posuv ve vlákne (a). Důvodem je vyšší koncentrace germánia v jádře vláken (b) a (c). Za vznik druhého vrcholku (vlákno b) může nehomogenní rozdělení germánia v jádře.



Obrázek 2.3: Vliv Brillouinového zisku spektra na čerpací vlnové délce 1525 nm u: (a) vlákna s jádrem z oxidu křemičitého, (b) stlačeného pláště vlákna, (c) disperzí posunuté vlákno [14]

Pokud vezmeme v úvahu interakci mezi čerpací vlnou pumpovanou do optického vlákna a Stokesovou vlnou, můžeme intenzitu čerpadla I_P a Stokesovu intenzitu pole I_S zapsat do rovnice:

$$\frac{dI_S}{dz} = -g_B I_P I_S - \alpha I_S \quad (2.4)$$

$$\frac{dI_P}{dz} = -g_B I_P I_S - \alpha I_P \quad (2.5)$$

Rovnice (2.4) a (2.5) určujeme pouze za podmínky, že čerpací a Stokesovy vlny jsou lineárně polarizované podél jednoho směru a udržované podél optického vlákna. Relativní úhel polarizace se mezi nimi však mění náhodně. Brillouinův zisk je g_B snížený koeficientem 1,5 [14].

V případě, že je Stokesův výkon mnohem menší než čerpací výkon. Pak je možné z tohoto důvodu první výraz na pravé straně rovnice (2.5) zanedbat:

$$I_S(0) = I_S(L) \exp\left(\frac{g_B P_0 L_{eff}}{A_{eff}} - \alpha L\right) \quad (2.6)$$

kde:

$$P_0 = I_S(0)$$

L_{eff} je výkon pumpy,

a

A_{eff} je efektivní plocha a efektivní délka je pak rovna vztahu:

$$L_{eff} = \frac{1 - \exp[-\alpha L]}{\alpha} \quad (2.7)$$

velikost Stokesova signálu na výstupu média s délkou L je rovna:

$$P_S(0) = P_S(L) \exp\left(\frac{g_B P_0 L_{eff}}{A_{eff}}\right) \quad (2.8)$$

a

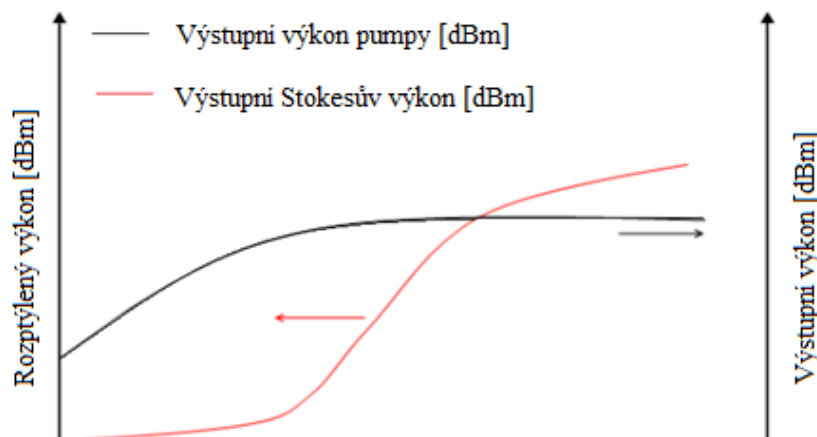
$$P_P(L) = P_P(0) - \exp(-\alpha L) \quad (2.9)$$

Intenzita Stokesovy vlny roste exponenciálně do té doby, než vstupní výkon překročí prahovou hodnotu. Pro úzkopásmové signály za použití rovnice (2.8) je možné vyjádřit kritický výkon pumpy odpovídajícímu prahu SBS efektu [15].

$$P_{er} \approx \frac{21bA_{eff}}{g_{BL}L_{eff}} \quad (2.10)$$

kde:

b je hodnota polarizace ležící někde mezi 1 a 2 v závislosti na relativní polarizaci čerpací a Stokesovy vlny [16].



Obrázek 2.4: SBS účinek na výkon signálu [16]

2.3 Stimulovaný Ramanův rozptyl (SRS)

Tento druh rozptylu je významný nelineární proces v optických vláknech. Stimulovaného Ramanova rozptylu (SRS) se využívá v širokopásmových ramanovských zesilovačích, a také v laditelných ramanovských laserech. SRS je také schopen přenést energii z jednoho určitého kanálu do kanálů sousedících, a tím významně utlumit výkon multikanálových systémů sloužících ke komunikaci.

V mnoha nelineárních procesech převede spontánní Ramanův rozptyl nepatrný zlomek výkonu z jednoho vidu na jiný, přitom posune frekvenci o hodnotu, která udává vibrační stav daného média. Tento proces je popisován kvantově-mechanicky. Je to rozptyl dopadajícího fotonu přes molekulu na foton nízké frekvence a zároveň ve stejném momentu molekula vytvoří přechod mezi vibračními stavy. Tento proces je nazýván Ramanův jev. Dopadající světelné záření má zde účinek jako pumpa. Tato pumpa zde vytváří frekvenční posun, který nazýváme Stokesova vlna. Díky vysoké koncentraci pumpovaných světelných vln o vysokém výkonu byl objeven v roce 1962 nový stimulovaný rozptyl světla s názvem stimulovaný Ramanův rozptyl (SRS). Stimulovaný Ramanův rozptyl nastane, pokud uvnitř optického vlákna enormně rostou Stokesovy vlny o takových rozměrech, že je v optickém vlákne převážná většina množství pumpované energie [17].

Stimulovaný Ramanův rozptyl (SRS) vznikne důsledkem interakce světla s molekulovými kmity. Je to vlastně modulace způsobená působením molekulových kmitů. U Stimulovaného Ramanova rozptylu je také možnost vzniku postranních pásem. Při frekvenčním posunutí vznikají světelné signály, které se nazývají Stokesovy a Anti-Stokesovy vlny. Pomocí interakce mezi čerpací

a Stokesovou vlnou jsme schopni naléznout Ramanův práh. Tato interakce se dá popsat soustavou dvou rovnic [17].

$$\frac{\partial I_S}{\partial z} = g_R I_P I_S - \alpha_S I_S \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial I_P}{\partial z} = -\frac{\omega_P}{\omega_S} g_R I_P I_S - \alpha_P I_P \quad (2.12)$$

kde:

I_P je považováno za intenzitu čerpací vlny, I_S intenzita Stokesovy vlny, g_R je účinnost Ramanova zisku, α_S představuje ztráty ve vlákně na Stokesové frekvenci a α_P představuje ztráty ve vlákně na čerpací frekvenci.

$$\frac{\partial}{\partial z} = \left(\frac{I_S}{\omega_S} + \frac{I_P}{\omega_P} \right) = 0 \quad (2.13)$$

Tato rovnice uvádí, že celkový počet fononů v čerpacím a Stokesovém paprsku zůstává po dobu Stimulovaného Ramanova rozptylu konstantní. Prah intenzity čerpacího záření závisí na zisku v Ramanově médiu a na délce oblasti čerpání. Je prokázáno, že se SRS vytvoří ze spontánního Ramanova rozptylu po celé délce optického vlákna. Efektivní délka vlákna je dána vztahem:

$$L_e(z) = \frac{1-e^{-\alpha z}}{\alpha} \approx \frac{1}{\alpha} \quad (2.14)$$

kde:

α jsou ztráty v optickém vlákně a z je vzdálenost. Zatím co intenzita spontánního Ramanova rozptylu je o několik řádů nižší než intenzita budícího záření, intenzita stimulovaného Stokesova a Ramanova záření je přibližně stejná jako intenzita budícího záření [18].

Stokesův výkon je definovaný s exponenciálním zesílením g , jako:

$$P_S(L) = P_S(0) \cdot e^{(g_R P(0) L_e / A_e)} \quad (2.15)$$

kde:

g_R je účinnost Ramanova zisku, $P(0)$ je výkon čerpací vlny, L_e efektivní délka vlákna, $P_S(0)$ výkon signálu, A_e je efektivní průřez vlákna. Ramanův práh je možné předpovědět poměrně přesně. Pro dlouhé vlákno $a \ll 1$, $L_e \approx 1/a$, na vlnové délce $\lambda = 1,55 \mu m$ - blízko které je útlum vlákna minimálně okolo $0,02 \text{ dB.km}^{-1}$, $L_e \approx 20 \text{ km}$ a o typické hodnotě $A_e = 50 \mu m$. Předpokládaný Ramanův práh je $P(0) \approx 600 \text{ mW}$ [14].

Stimulovaný Ramanův rozptyl vzniká v jednobanálním i vícebanálním přenosu. Pokud hovoříme o jednobanálním přenosu SRS, bude v tomto případě vznikat v obou směrech. Jestliže se však bude jednat o vícebanalový přenos, pak mezi jednotlivými kanály existují přeslechy. V případě, že se pohybujeme v malých frekvencích (na velkých vlnových délkách), tak je světlo zesilované, ale při velkých frekvencích (malých vlnových délkách) je světlo zeslabované.

Interakce světelného záření a vysokofrekvenční vibrační složky prostředí má za následek vznik stimulovaného Ramanova rozptylu. Stimulovaný Ramanův rozptyl se dá nejjednodušeji popsat kvantově mechanickým modelem a také popisem, který je založen na indukci dipólového momentu molekuly. Tato molekula kmitá podle oscilace elektrického pole nabuzeného/excitovaného záření. Intenzita elektrického pole E je pak přímo úměrná zdroji rozptýleného záření (indukovaného dipólu μ_i) [19].

$$\mu_i = \alpha \times E \quad (2.16)$$

3 Optovláknové distribuované systémy

Jsou to systémy, které dokážou měřit teplotu, tlak nebo mechanické napětí v optickém vlákne. Hodnoty teploty nebo mechanického napětí jsou snímány podél celé délky optického vlákna. Je tedy možné získat teplotní nebo mechanicko-napěťový profil podél optického vlákna. Technologicky jsou tyto systémy založeny na principu optického reflektometru (do vlákna je vyslán světelný impulz s definovanou vlnovou délkou, velikostí a dobou trvání). Část impulzu se vlivem nelineárního rozptylu v optickém vlákne vrátí zpět na detektor.

Podle typu nelineárního rozptylu se optovláknové distribuované systémy rozdělují na systémy DTS (Distributed Temperature System). Tyto systémy pracují na principu Stimulovaného Ramanova rozptylu. Dále jsou distribuované systémy DSTS (Distributed Strain Temperature System), které využívají k měření stimulovaný Brillouinův rozptyl.

Tento druh distribuovaných systémů využívá jako snímací médium pro své měření optické vlákno. Optické vlákno je možné jako senzor rozdělit do tří kategorií:

- Bodové senzory - na měřenou veličinu je citlivé pouze jedno místo (jeden bod) na optickém vlákne. Tímto způsobem lze pomocí lokálního senzoru změřit veličiny jako např.: teplotu, tlak na optickém vlákne, napětí, atd.
- Multiplexní senzory (zdánlivě distribuované) - zdánlivě distribuované optovláknové senzory snímají velké množství bodů, které jsou mnohonásobně propojeny optickým vlákem při použití rozdílných vlnových délek pro každý senzor. Tímto způsobem lze také snímat časové zpoždění světla, které prochází optickým vlákem, případně každým senzorem.
- Distribuované nebo plně distribuované senzory - využívají optické vlákno jako dlouhý, nepřerušovaný lineární senzor. Naměřenou veličinu zde získáme analýzou zpětně odraženého světla.

Distribuované senzory jsou navrženy tak, že informace je udržována v prostorovém módu, a poté může být měřená veličina lokálně identifikovaná podél délky samotného vlákna. Měření mechanického namáhání je možné díky konceptu „modifikovaného radaru“, užitím optických pulsů vyslaných ve snímaném vlákne.

Zaznamenáváme funkci času doby šíření pulzu skrze vlákno a vliv měřené veličiny na optické impulzy v rámci vlákna. Rychlost světla uvnitř optického vlákna známe. Časové zpoždění mezi pulzem a detekcí účinku měřené veličiny poskytuje přímé informace o lokaci interakce. Další interakce probíhá ve snímacím vlákne, delší bude časové zpoždění mezi vysílaným pulzem a detekcí interakce. Jedno jediné vlákno může přemístit tisíce bodových senzorů, a to právě díky konceptu distribuovaného snímání [11].

3.1 DTS systém pracující na Stimulovaném Ramanově rozptylu

Historie tohoto systému spadá do začátku 90. let, kdy byl vyvinutý na univerzitě Southampton v Anglii. Technologie DTS je založena na principu měření metodou zpětného rozptylu OTDR a používá podobnou techniku pro testování telekomunikačních vláken.

Distribuované systémy využívající stimulovaný Ramanův rozptyl jsou schopny měřit teplotní profil a délku podél optického vlákna. Prostorová rozlišitelnost těchto systémů je jeden metr, teplotní rozlišitelnost 0,01 °C s tím, že jsou schopny měřit trasu dlouhou přibližně 8-10 km. Měřená trasa však musí být realizována optickým vláknem mnohomódového typu. Dále musí mít velkou hodnotu numerické apertury, a to pro maximalizování vedené intenzity zpětně odraženého světla, jelikož velikost zpětně rozptýleného světla vlivem Ramanova rozptylu je poměrně malá [20].



Obrázek 3.1: Distribuovaný systém využívající stimulovaný Ramanův rozptyl

Na obrázku 3.1 je zobrazen distribuovaný systém využívající SRS. Pokud chceme měřit teplotu v určité části optického vlákna, je potřeba se zaměřit na spektrum Ramanova rozptylu. I_S zde představuje intenzitu Stokesové části Ramanova rozptylu, I_{AS} představuje intenzitu anti-Stokesové části Ramanova rozptylu. V distribuovaných systémech pracujících na bázi Stimulovaného Ramanova rozptylu se obvykle používají lasery s vlnovou délkou 1064 nm.

V rovnici 3.1 je uvedený vztah popisující princip činnosti distribuovaného systému využívající stimulovaný Ramanův rozptyl. První část rovnice je konečný vztah lineární kombinace teplotního offsetu. Druhá část je definice útlumu v optickém vlákně a třetí část je měření teploty na základě poměru anti-Stokesovy a Stokesovy části Ramanovského spektra.

$$T(z) \cong T_{REF} \left(1 + \frac{\Delta\alpha z}{\ln\left(\frac{C_S}{C_{AS}}\right)} + \frac{\ln\left(\frac{I_S(z)}{I_{AS}(z)}\right)}{\ln\left(\frac{C_S}{C_{AS}}\right)} \right) \quad (3.1)$$

kde:

C_S a C_{AS} jsou konstanty, $\Delta\alpha = \alpha_S - \alpha_{AS}$ je větší jak nula a $T(z)$ je velikost teploty v místě z od čela optického vlákna.

Vztah teplotního offsetu T_{REF} je:

$$T_{REF} = \frac{h\Omega}{k \ln\left(\frac{C_S}{C_{AS}}\right)} \quad (3.2)$$

kde:

k je Boltzmanova konstanta, $2\pi\Omega$ je červený a modrý frekvenční posun, h je Planckova konstanta [21].

3.2 DSTS systém pracujících na Stimulovaném Brillouinově rozptylu

Distribuované systémy DSTS (Distributed Strain Temperature System) pracující na Stimulovaném Brillouinově rozptylu (SBS) jsou schopny měřit jak teplotu, tak mechanické napětí podél měřené trasy. Při jednom měření jsou tyto systémy schopny distribuovaně změřit několik tisíc bodů, v jednomódovém vlákně. DSTS systém je založen na měření optické interakce, a to na principu stimulovaného Brillouinova rozptylu (SBS).

Jedná se o vnitřní fyzikální vlastnost optického vlákna a poskytuje nám důležité informace o teplotě a napětí působící na optické vlákno. Jako senzor využívá jednovidové optické vlákno, které může být měřeno až do vzdálenosti 50 km. Charakteristika stimulovaného Brillouinova rozptylu je měřena díky inovativní a stabilní konfiguraci. Tato konfigurace je založena na Brillouinově optické časové doméně.

Tento systém používá jeden laserový zdroj. Umožňuje periodické měření bez jakékoliv předběžné kalibrace. Také je schopen současně měřit teplotu i tlakové namáhání. Měření tlakového namáhání je teplotně závislé. Optická vlákna nebo kabely mohou být připojeny k DSTS systému a můžeme je měřit automaticky pomocí integrovaného optického přepínače. Přístroj je schopen pracovat dlouhodobě bez jakékoliv obsluhy.

Naměřené hodnoty jsou automaticky zaznamenávány a ukládány v databázi, aby byly dostupné pro další analýzu. Tyto hodnoty lze exportovat do různých formátů, jak ve formě textového souboru nebo aplikace Excel, tak i v grafické podobě. Součástí tohoto přístroje je také program DITEST Data Viewer, který je možné nainstalovat na jakýkoliv klientský počítač, pomocí něhož můžeme grafická data dále zpracovávat. K této databázi se také můžeme připojit pomocí vzdálené plochy přes LAN síť. Na obrázku 3.2 je zobrazen DSTS systém pracující na stimulovaném Brillouinově rozptylu [11].



Obrázek 3.2: Optovláknový distribuovaný systém DITEST STA-R™ [11]

Parametry přístroje DITEST STA-R™:

- dva nezávislé kanály;
- typ měřeného vlákna: klasické jednovidové optické vlákno;
- měřená vzdálenost: do 50 km;
- prostorové rozlišení: 1 m při 20 km, 2 m při 30 km, 3 m při 50 km;
- počet bodů: 100 000;
- měřené hodnoty: napětí, Brillouinův frekvenční posuv, Brillouinův zisk a šířka;
- teplotní rozlišení: 0,1 °C (-273 °C až 700 °C);
- rozlišení tlakového napětí: 2 μe ;
- doba měření: 1-2 min, pro vyšší rozlišení vzorků 5-10 min.

4 Praktická část

4.1 Úvod a cíle praktické části

Jelikož patří DSTS systémy k nejperspektivnějším vláknově optickým systémům pro monitorování mechanických vlastností optických vláken, je cílem této praktické části proměřit různé druhy optických vláken. Kdy tato vlákna musíme různě mechanicky namáhat a naměřené výsledky ze systému DSTS DITEST STA-RTM vyhodnotit.

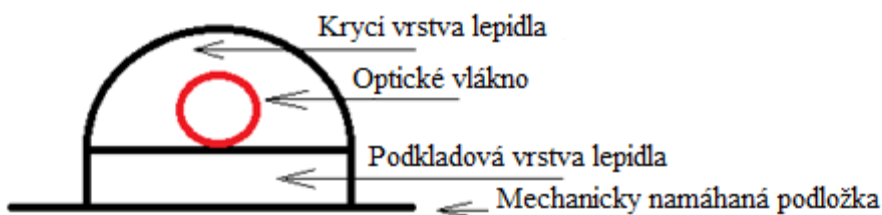
Praktická část této diplomové práce tematicky navazuje na moji bakalářskou práci, ve které jsem zkoumal vliv uchycení optických vláken na měření pomocí DSTS systému. Díky této práci byl potvrzen fakt, že různé způsoby uchycení optických vláken, co se týká materiálů mají významný vliv na naměřené výsledky DSTS systému.

Pro praktickou část diplomové práce bylo použito několik různých typů optických vláken, které byly různými technologickými způsoby připevněny k přípravku na měření mechanických vlastností.

4.2 Návrh šablon pro připevnění optických vláken

Jak již bylo zmíněno v mé předchozí bakalářské práci, různé materiály sloužící k uchycení optického vlákna mají významný vliv na naměřené výsledky DSTS systému. V této práci jsme se také zaměřili na propracovanější aplikaci materiálů sloužících k uchycení optických vláken, a to jak z důvodu možných přesnějších a důvěryhodnější naměřených výsledků, ale také z důvodu možného předejití poškození, nebo zlomení optického vlákna v praktickém použití.

Hlavní myšlenka pro vylepšení těchto dvou zmiňovaných vlastností spočívala ve způsobu uchycení optického vlákna. Kdy bude optické vlákno položeno na vrstvu vytvrzeného lepidla, které se následně znovu překryje stejným druhem lepidla. Optické vlákno bude tedy tímto materiálem obklopeno ze všech stran a zároveň bude kvalitně a bezpečně připevněno k měřenému přípravku, na kterém budou monitorovány mechanické vlastnosti daného optického vlákna. Na obrázku 4.1 je tato myšlenka znázorněna.

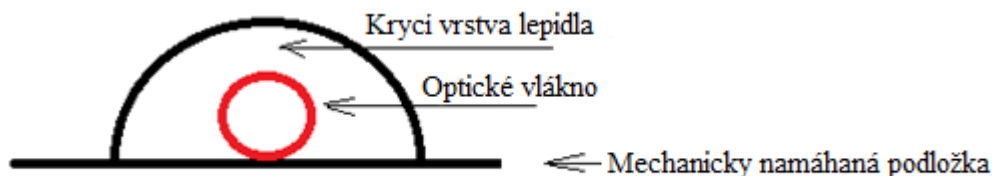


Obrázek 4.1: *Varianta způsobu uchycení optického vlákna*

První, úvodní realizace této myšlenky byly provedeny při zkušebních měřeních, při kterých byly naměřeny zajímavé hodnoty. Výsledky vedly k hlubšímu uvažování nad celým problémem. V těchto měřeních bylo vždy použito totožné optické vlákno G.652.D s těsnou sekundární ochranou.

Při úvodních měřeních bylo k přípravku připevněno optické vlákno, jak způsobem uvedeným na obrázku 4.1, tak způsobem, kterým bylo optické vlákno připevněno v bakalářské práci.

A to tak, že bylo optické vlákno připevněno přímo na mechanicky namáhanou část přípravku, tedy bez první vrstvy lepidla. Tento způsob uchycení je zobrazen na obrázku 4.2.



Obrázek 4.2: *Varianta uchycení optického vlákna v bakalářské práci*

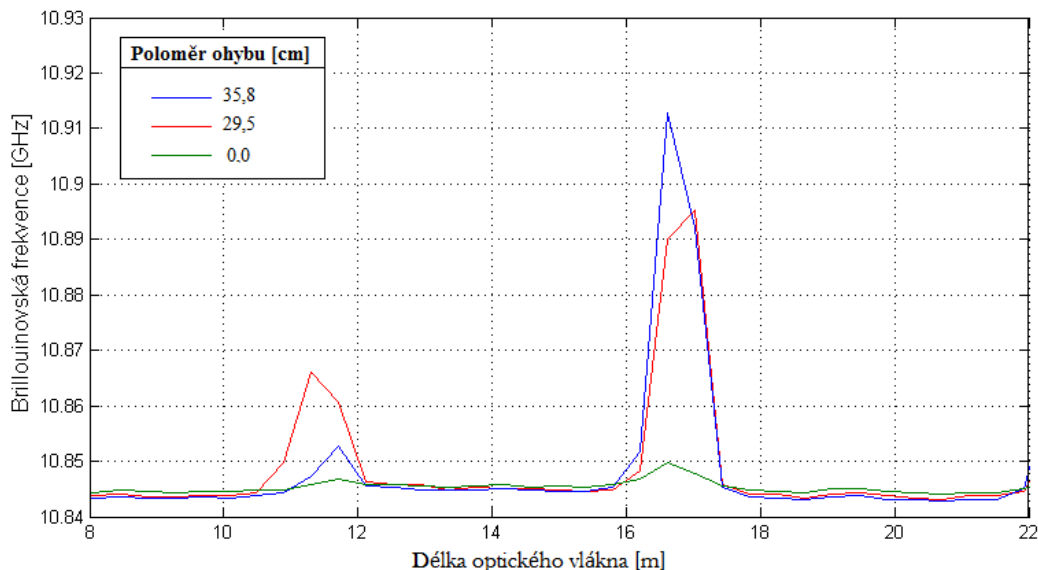
Těmito dvěma způsoby bylo připevněno optické vlákno k mechanicky namáhané podložce. Jako lepidlo pro úvodní měření bylo zvoleno Mamut Glue od firmy Den Braven. Po vytvrzení již zmiňovaného lepidla bylo zjištěno, že u části optického vlákna, které bylo obklopeno dvěma vrstvami lepidla (obrázek 4.1) nebyly naměřeny téměř žádné Brillouinovské frekvence. Zatím co u druhého způsobu uchycení (obrázek 4.2) byly naměřeny podstatně vyšší Brillouinovské frekvence (mezi Brillouinovskou frekvencí a mechanickým namáháním je přímá závislost). Na obrázku 4.3 je zobrazeno jedno z úvodních měření.



Obrázek 4.3: *Jedno z úvodních měření*

Na obrázku 4.4 je uveden graf, vykreslený z naměřených hodnot úvodního měření. Na tomto grafu jsou pro přehlednost uvedeny pouze dva poloměry ohybu (35,8; 29,5 cm). Poloměr 0,0 cm znamená to, že plechová podložka nebyla nijak mechanicky namáhána. Na grafu jsou zobrazeny tři křivky. Vlevo jsou vykresleny z hodnot té části optického vlákna, která byla uchycena podle obrázku 4.1. Podkladová vrstva tohoto uchycení byla nepravidelně vysoká v rozmezí 8-12 mm. Křivky v pravé části grafu jsou vykresleny z části optického vlákna uchyceného přímo na plechovou, mechanicky namáhanou podložku (obrázek 4.2). Je zde vidět patrný rozdíl v naměřených Brillouinovských frekvencích, který je nejpatrnější při největším namáhání, tedy při poloměru ohybu 35,8 cm. U tohoto „stupně“ namáhání v délce optického vlákna 11 m, byla naměřena dokonce menší Brillouinovská frekvence, než u menšího poloměru ohybu 29,5 cm. Tento fakt byl pravděpodobně způsoben tím, že první (podkladová) vrstva lepidla byla příliš silná (8 - 12 mm) což způsobilo, že téměř veškeré

mechanické namáhání, které bylo vyvinuto na vlákno, tato podkladová vrstva pohltila a DSTS systém vůbec toto namáhání nezaznamenal. V případě části optického vlákna, které bylo uchyceno přímo na plechovou podložku je namáhání zřetelné.



Obrázek 4.4: Graf vykreslený z naměřených hodnot úvodního měření

V tabulce 4.1 jsou uvedeny nejvyšší naměřené hodnoty úvodního měření. Na těch je patrné, že optické vlákno, které bylo připevněno stylem uchycení zobrazeným na obrázku 4.1, skutečně nevykazuje oproti vláknu připevněnému stylem uchycení zobrazeným na obrázku 4.2 téměř žádné známky namáhání.

Tabulka 4.1: Nejvyšší naměřené hodnoty z úvodního měření

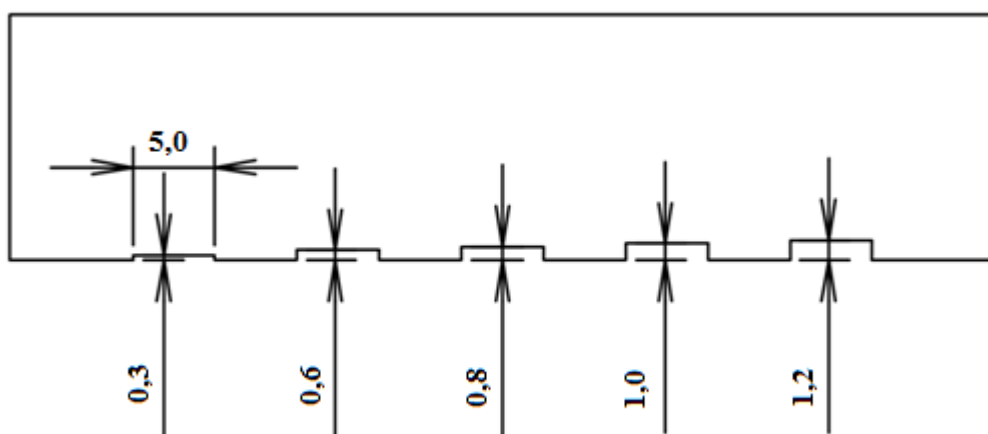
Poloměr ohybu [cm]	Brillouinová frekvence [MHz]	
	Podkladová vrstva 8-12 mm	Bez podkladové vrstvy
0,0	10 8406	10 8483
29,5	10 8659	10 8921
35,8	10 8538	10 9128

Tato skutečnost nás vedla k tomu názoru, že síla podkladové vrstvy velmi významně ovlivňuje měření mechanického namáhání optického vlákna pomocí DSTS systému. Avšak z hlediska bezpečného připevnění a případnému zabránění poškození optického vlákna v praxi, je tato podkladová vrstva důležitá.

To vše nás vedlo k tomu, že síla podkladové vrstvy velmi významně ovlivňuje měření mechanického napětí optického vlákna. Bylo tedy potřeba navrhnout podkladové vrstvy takových rozměrů, aby tloušťka této vrstvy nepohlcovala mechanické napětí optického vlákna a DSTS systém byl schopen toto mechanické napětí změřit. Protože jsou však DSTS systémy velmi citlivé na jakékoliv odlišné mechanické vlastnosti, tedy i na nerovnoměrnou sílu vrstvy podkladového materiálu, kterým bude optické vlákno připevněno k mechanicky namáhané podložce, bylo potřeba

navrhnout takové řešení a technologický postup, který zajistí konstantní nános lepidla pro podkladovou vrstvu.

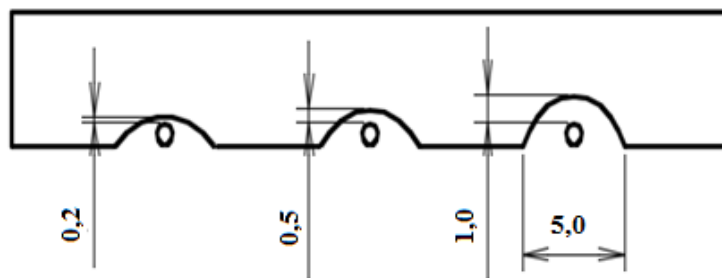
Na obrázku 4.5 je graficky znázorněn návrh stěrky, sloužící k rovnoměrnému setření naneseného lepidla. Tato stěrka je navržena tak, aby po nanesení lepidla byla podkladová vrstva o rovnoměrné tloušťce. Na stěrce jsou navrženy drážky o šířce 5 mm (tato šířka by měla být dostatečná pro nanesení telekomunikačního vlákna G.652D s těsnou sekundární ochranou, které má v průměru 0,9 mm), o pěti různých výškách nánosů. Konkrétně se jedná o výšky 0,3 mm; 0,6 mm; 0,8 mm; 1,0 mm a 1,2 mm. Drážky jsou na stěrce navrženy za účelem zjištění a ověření, o kolik a jakým způsobem se budou naměřené výsledky lišit při proměnlivé síle podkladové vrstvy. Případně vyzkoumat, jaká síla podkladové vrstvy pohltí samotné měření mechanického namáhání optického vlákna.



Obrázek 4.5: *Návrh stěrky podkladové vrstvy (uvedené hodnoty jsou v jednotkách mm)*

Dále bylo potřeba zajistit, aby i druhá (krycí vrstva) optického vlákna, která je znázorněna na obrázku 4.1 měla taktéž konstantní tvar a rozměry, z důvodu věrohodně naměřených výsledků ze systému DSTS.

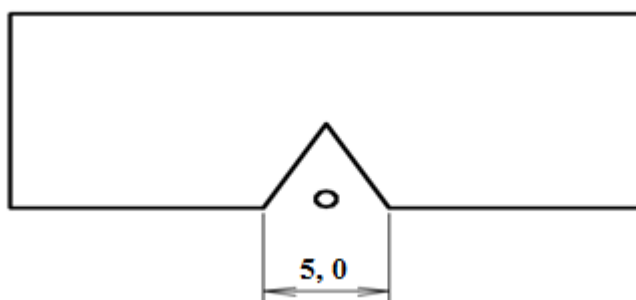
Při návrhu těchto stěrek jsme mysleli na to, že na naměřené výsledky může mít vliv jak síla lepidla, která překrývá optické vlákno, tak také tvar této krycí vrstvy. Abychom zjistili, jak významný vliv bude mít tato krycí vrstva na naměřené výsledky, byly navrženy dva tvary drážek o daných rozměrech, které budou sloužit jako stěrka pro krycí vrstvu lepidla. Jako tvar krycí vrstvy byl navržen ovál a trojúhelník. Kdy u krycí vrstvy „ovál“ je návrh vytvořen tak, aby byly opět proměnlivé výšky lepidla nad vláknem. Myšlenka je zobrazena na obrázku 4.6.



Obrázek 4.6: Návrh stěrky krycí vrstvy tvaru „ovál“ (uvedené hodnoty jsou v jednotkách mm)

Stěrka, která je na obrázku 4.6 je navržena tak, aby byla nad vláknem vždy konstantní vrstva lepidla. Vrstvy lepidla nad vláknem jsou: 0,2 mm; 0,5 mm a 1,0 mm. Tudiž celková hloubka drážek se musí přičíst k průměru optického vlákna, v tomto případě 0,9 mm. První drážka musí mít tedy hloubku 1,1 mm, druhá 1,4 mm a třetí drážka 1,9 mm, abychom dosáhli požadované vrstvy lepidla nad optickým vláknem. Přitom je potřeba zachovat šířku drážky jako u podkladové vrstvy, která je 5 mm.

Druhá stěrka krycí vrstvy optického vlákna byla navržena ve tvaru trojúhelníku, a to tím způsobem, aby se jednalo o rovnostranný trojúhelník o délce stran 5 mm. Návrh je zobrazen na obrázku 4.7.



Obrázek 4.7: Návrh stěrky krycí vrstvy ve tvaru „trojúhelník“ (uvedené hodnoty jsou v jednotkách mm)

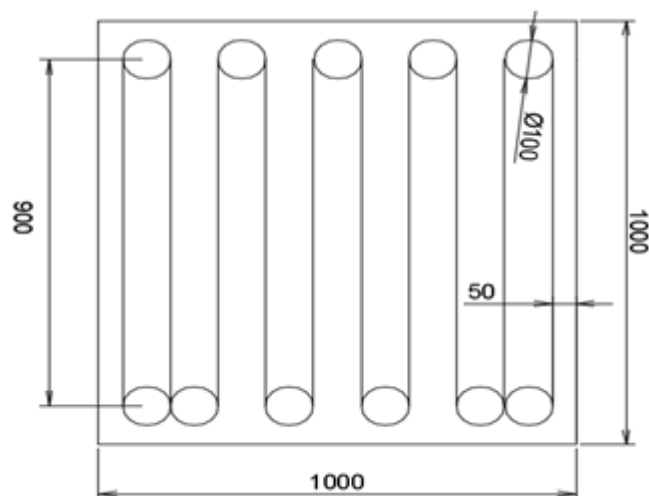
4.2.1 Návrh plechové podložky sloužící k mechanickému namáhání

Pro mechanické namáhání optického vlákna byl použit přípravek, který byl již v laboratoři k dispozici. K tomuto přípravku se pomocí šroubů uchytil plech o rozměrech 1000 x 1000 mm, tloušťka bude 0,5 mm, z důvodu ohýbání plechu.

Návrh rozměření této plechové podložky sloužící k mechanickému namáhání byl nutný z důvodu stejnoměrného rozložení optického vlákna na této ploše (1000 x 1000 mm). Abychom byli schopni účelně měřit různé vlivy uchycení vůči mechanickému namáhání na systému DSTS, bylo potřeba technologicky zvládnout přesné nanášení lepidla.

Na plechovou podložku bylo rozvrženo celkem 10 drah, každá dráha je navržena na délku 900 mm, následuje kružnice o průměru 100 mm, které zobrazují smotky optického vlákna

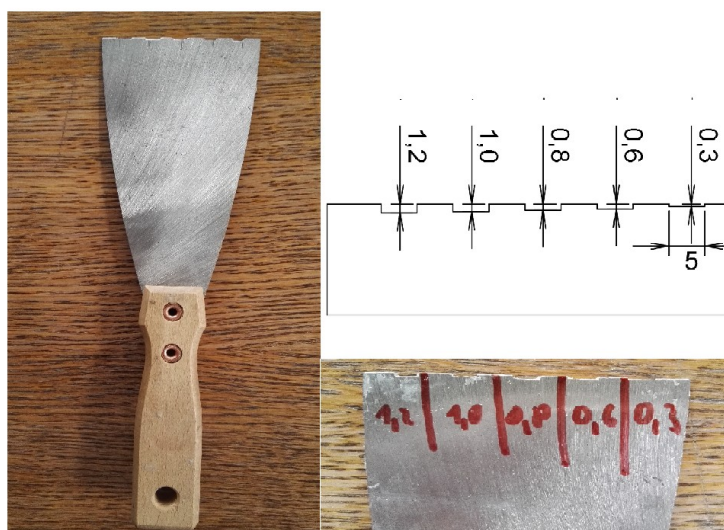
sloužící k oddělení jednotlivých drah od sebe. Každá dráha je pak od sebe vzdálená 100 mm. Grafický návrh je zobrazen na obrázku 4.8.



Obrázek 4.8: Návrh podložky sloužící k uchycení optického vlákna (uvedené hodnoty jsou v jednotkách mm)

4.2.2 Výroba stěrky pro podkladovou vrstvu

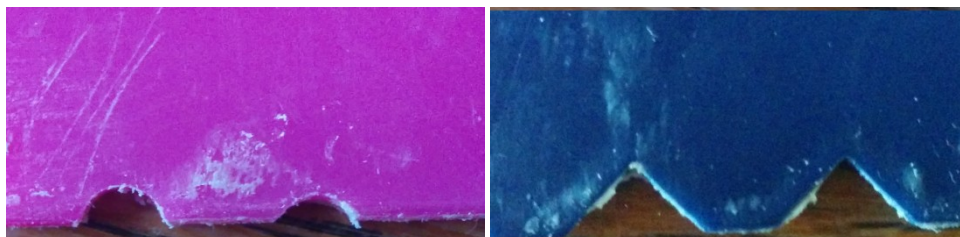
Pro podkladové vrstvy bylo potřeba vyrobit stěrku, která je zobrazena na obrázku 4.5. K výrobě byla použita špachtle, do které byly vypilovány drážky o daných rozměrech. Bohužel byla tato stěrka vyráběna v domácích podmínkách, a z důvodu materiálu, z něhož je špachtle vyrobena, jsem nebyl schopen zachovat při pilování přesné rozměry. Na samotné stěrce jsou v detailu vidět nepřesnosti, které jsou však vzhledem k rozměrům přijatelné. Stěrka podkladové vrstvy je zobrazena na obrázku 4.9.



Obrázek 4.9: Stěrka pro podkladovou vrstvu lepidla

4.2.3 Výroba stěrky pro krycí vrstvu - ovál, trojúhelník

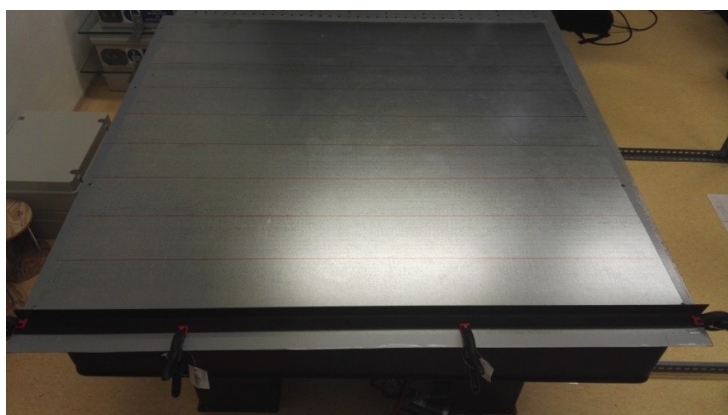
Pro tento účel byly zakoupeny plastové stěrky, z důvodu menšího rizika poškození optického vlákna. Do těchto byly následně opět co možná nejpřesněji vypilovány tvary podle návrhů, které jsou zobrazeny na obrázcích 4.6 a 4.7. Na obrázku 4.10 je zobrazen detail stěrky tvaru „trojúhelník“ i detail stěrky tvaru „ovál“.



Obrázek 4.10: *Stěrka krycí vrstvy „ovál“ a „trojúhelník“*

4.3 Aplikace lepidla a optického vlákna k přípravku na měření

Aplikace podkladové vrstvy byla prováděna na plechovou podložku (dle návrhu na obrázku 4.8), na které bylo všech 10 drah rozkresleno pravítkem. Tím byla zajištěna jejich rovnoběžnost a přesnost. Tato realizace je vidět na obrázku 4.11.



Obrázek 4.11: *Rozkreslené dráhy sloužící pro přesnou aplikaci lepidla*

Jako lepidlo bylo zvoleno opět Mamut Glue, se kterým jsme měli již předchozí zkušenosti. Toto lepidlo má vysokou pevnost v tahu (až 22 kg/cm^2). Lepidlo bylo rovnoměrně vytlačováno výtlačnou pistolí z kartuše na rozkreslené čáry. Vždy po nanesení vrstvy lepidla na čáru, bylo potřeba k této vrstvě přiložit pravítko. To sloužilo jako vodící prvek pro stěrku podkladové vrstvy (obrázek 4.9). Na tuto stěrku bylo vždy nutné před setřením nadbytečné vrstvy nanést detergent (Jar), z důvodu lepšího setření a pracování s přebytečným lepidlem.



Obrázek 4.12: *Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven*

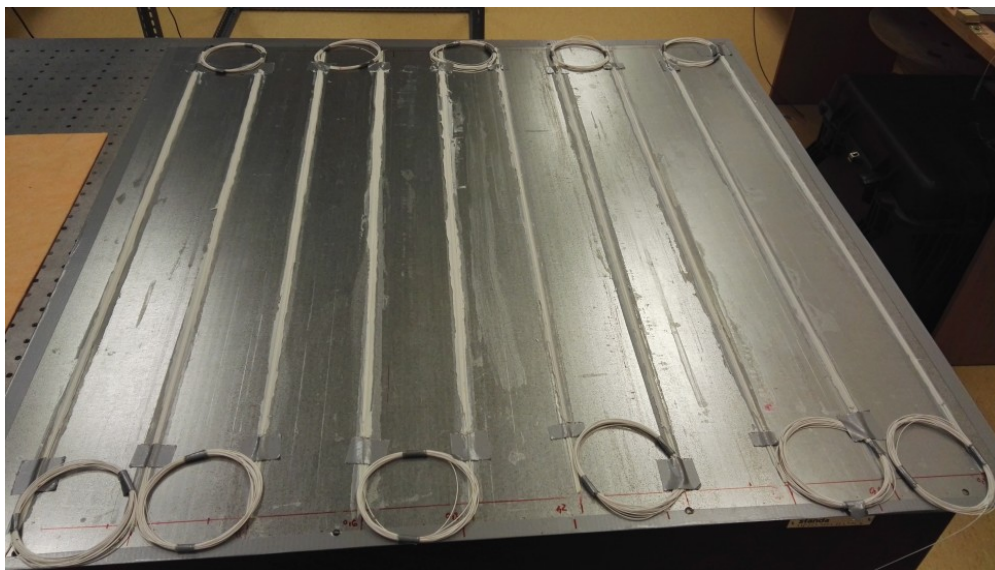
Finální verze podkladové vrstvy je zobrazena na obrázku 4.13. Na mechanicky namáhanou plechovou podložku byly bez problému nanесeny všechny podkladové vrstvy lepidla Mamut Glue, ve vrstvách: 0,3 mm; 0,6 mm; 0,8 mm; 1,0 mm a 1,2 mm. Každá z těchto výše uvedených vrstev je na plechu nanесena dvakrát. Na připevnění optického vlákna a nanесení krycí vrstvy bylo potřeba počkat 24 hodin, než lepidlo podkladové vrstvy zaschne.



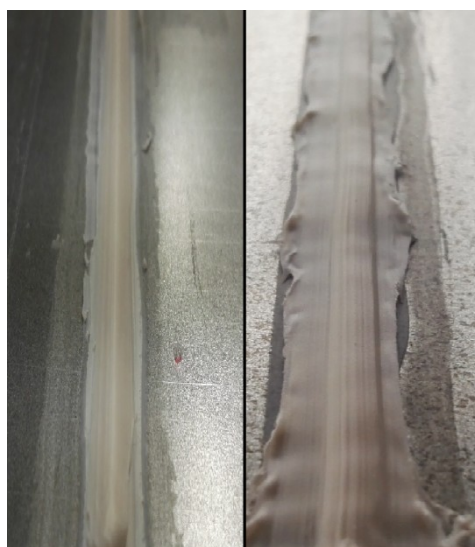
Obrázek 4.13: *Finální verze podkladové vrstvy*

Na vytvrzené lepidlo bylo připevněno optické vlákno G.652.D s těsnou sekundární ochranou, prozatím pomocí izolepy. Tohoto vlákna bylo na plech připevněno celkem 64 metrů. 55 metrů vlákna však bylo využito na smotky o průměru 10 cm, tyto smotky jsou na přípravku nutné, z důvodu oddělení jednotlivých drah. Zhotovené smotky nám v DSTS systému oddělí jednotlivé dráhy od sebe a budeme tak schopni analyzovat každou dráhu optického vlákna zvlášť.

Po připevnění vlákna bylo znovu stejným způsobem aplikováno lepidlo Mamut Glue (obrázek 4.12) z kartuše výtlačnou pistolí. Po nanесení druhé vrstvy lepidla bylo opět k této „čáře“ přiloženo pravítko, které sloužilo jako vodící lišta pro stěrku krycí vrstvy (obrázek 4.11). Na první plech byla použita stěrka krycí vrstvy ve tvaru: trojúhelník a ovál s krycí vrstvou 1,0 mm lepidla nad optickým vlákem. Hotová plechová podložka sloužící k mechanickému namáhání, osazená optickým vlákem je zobrazena na obrázku 4.14. Na obrázku 4.15 jsou pak detailně zobrazeny krycí vrstvy tvaru: trojúhelník a ovál.



Obrázek 4.14: *Hotová plechová podložka sloužící k mechanickému namáhání*



Obrázek 4.15: *Detail krycích vrstev z leva: trojúhelník, ovál*

Po vytvrzení lepidla krycí vrstvy byly k oběma koncům optického vlákna přivařeny pigtaily s koncovkou E2000, aby bylo možné mechanicky namáhané optické vlákno připojit k DSTS systému.

Uchycení optického vlákna k mechanicky namáhané plechové podložce bylo provedeno i jinými druhy lepidel, kdy každé z nich má odlišné mechanické vlastnosti. Celkově byly použity tři druhy. Již zmiňovaný Mamut Glue od firmy Den Braven, dále Hřebíky a šrouby v tubě od totožného výrobce (obrázek 4.17) a Epoxidová pryskyřice 1200 od výrobce Kittfort (obrázek 4.18). Každé z těchto lepidel má odlišné vlastnosti co se týká pevnosti a pružnosti.

Tyto druhy lepidel byly vybírány záměrně, protože jsme se domnívali, že pokud má na naměřené hodnoty významný vliv výška podkladové vrstvy, síla a tvar nánosu na optickém vlákne, pak bude mít na naměřené hodnoty velký vliv i druh lepidla.

Dále bylo nutné vyzkoumat, jakým způsobem se při měření mechanického napětí budou chovat odlišné typy optických vláken, případně zda bude možné použít jako senzor i jiné typy. K dispozici jsme měli celkově čtyři druhy optických vláken, kdy každé z těchto vláken bylo připevněno k mechanicky namáhaným plechovým podložkám výše uvedenými druhy lepidel. K dispozici jsme měli již zmiňované telekomunikační vlákno G.652.D, k dalším druhům optických vláken jsme bohužel neměli k dispozici žádné informace, kromě názvu nebo čísla, který byl na cívce daného optického vlákna. Byly ještě proměřeny tyto vlákna: ALLWAVE: 040VN6777A1CLG, vlákno s ID cívky 004354651C2RCB, dále vlákno s ID cívky: 516220. Na obrázku 4.16 jsou výše jmenovaná vlákna zobrazena.



Obrázek 4.16: *Optická vlákna aplikovaná na plechové podložky*

S lepidlem Mamut Glue se pracovalo nejlépe a optické vlákno bylo přichyceno na celkem osm mechanicky namáhaných podložek.

Dalším lepidlem, které bylo použito již zmiňované lepidlo Hřebíky a šrouby v tubě (obrázek 4.17). Toto lepidlo bylo taktéž aplikováno z kartuše výtlačnou pistolí. Bylo nanášeno pět podkladových vrstev. Práce s krycími vrstvami, však byla oproti lepidlu Mamut Glue podstatně horší. U tohoto druhu lepidla už jsme nebyli schopni zajistit přesnost nanášené krycí vrstvy, a to především u nižších krycích vrstev (0,5 a 0,2 mm). Při pokusech nanést tyto vrstvy jsme se setkali s tím, že lepidlo tohoto typu v tak malé krycí vrstvě nebylo schopno držet svůj tvar a nanesená vrstva se trhala. Z těchto důvodů jsme krycí vrstvy typu 0,5 mm ovál a 0,2 mm ovál na optické vlákno neaplikovali a byly realizovány pouze krycí vrstvy tvaru trojúhelník a 1 mm ovál. Tímto lepidlem byly realizovány celkem čtyři plechové mechanicky namáhané podložky.



Obrázek 4.17: *Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven*

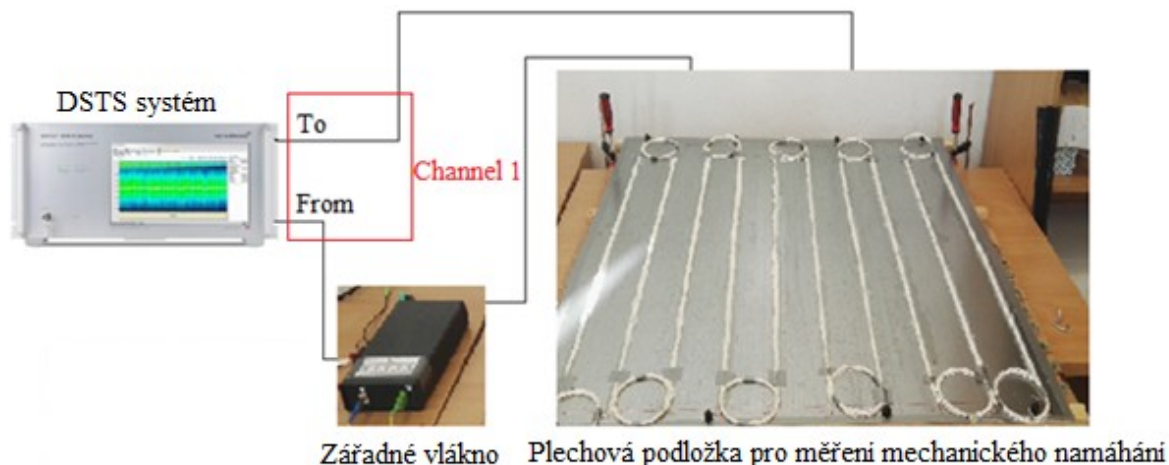
Posledním typem lepidla, které jsme pro tuto práci použili, bylo lepidlo s názvem Epoxidová pryskyřice 1200, výrobce Kittfort (4.18), které je dvousložkové. Při aplikaci tohoto lepidla jsme chtěli dodržet stejný technologický postup jako u předchozích dvou lepidel a nanést opět pomocí stěrky (obrázek 4.9) pět podkladových vrstev o totožných rozměrech. Tak, jako tomu bylo u předchozích dvou lepidel. Problém nastal při „setření“ přebytečné vrstvy lepidla, kdy se nám i při opakovaných pokusech tyto setřené vrstvy slily do jedné konstantní vrstvy. Tím nebylo možno zaručit přesně dané rozměry. Stejný problém nastal u krycí vrstvy. Díky příliš tekutému složení Epoxidové pryskyřice 1200 není možno rovněž docílit předepsaných nanosových vrstev. Díky těmto zjištěním bylo optické vlákno přichyceno lepidlem pouze k jedné mechanicky namáhané plechové podložce. Z výše uvedených důvodů bylo toto lepidlo vyřazeno z experimentu.



Obrázek 4.18: *Lepidlo: Epoxidová pryskyřice 1200, výrobce: Kittfort*

Celkově jsme tedy zhotovili 13 kusů plechových podložek, které byly následně proměřeny pomocí DSTS systému.

4.4 Kalibrace DSTS pro měření Brillouinových frekvencí

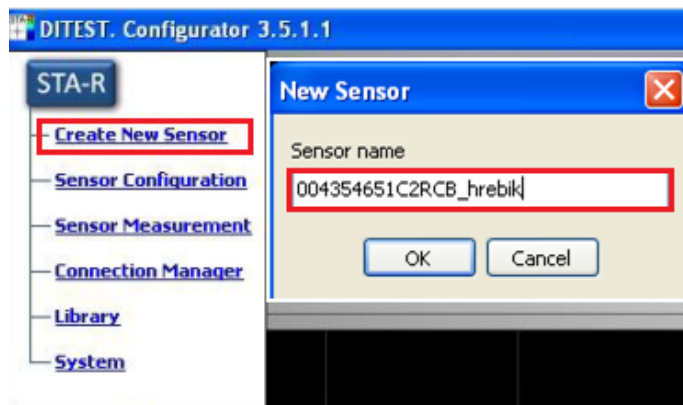


Obrázek 4.19: Schéma zapojení kalibrace optického vlákna

Měření mechanického namáhání bylo měřeno DSTS systémem na 13 plechových podložkách, které jsem popisoval ve výše uvedených kapitolách. Před každým měřením „nové“ plechové podložky je pro správnost měření nutné provést kalibrační náměr. Na obrázku 4.19 je zobrazeno schéma zapojení pro kalibraci.

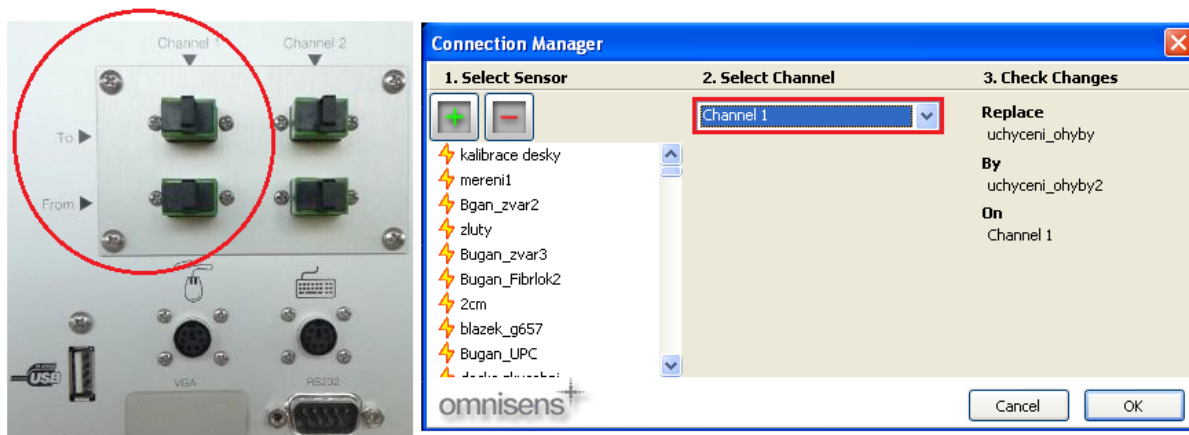
Přípravek na měření mechanického namáhání byl připojen do DSTS systému tak, že začátek měřeného vlákna byl připojen do výstupu laseru (TO). Konec měřeného optického vlákna byl připojen do záradného vlákna. Toto vlákno je zde zapojeno proto, že výrobce DSTS systému uvádí, že z důvodu správnosti měření je nutné mít v měřené trase zapojeno alespoň 30 metrů záradného optického vlákna. Konec záradného vlákna byl pak zapojen do vstupu (FROM) DSTS systému (obrázek 4.19).

Po spuštění DSTS systému automaticky nabootoval program DITEST. Configurator 3.5.1.1 sloužící k distribuovanému měření mechanického namáhání optického vlákna. Po přihlášení do programu bylo nutné vytvořit nový senzor. STA-R → Create New Sensor a tento senzor pojmenovat. Jméno níže uvedeného senzoru bylo podle ID cívky, na které bylo namotáno optické vlákno a podle druhu lepidla sloužícího k uchycení daného vlákna (obrázek 4.20). Do tohoto senzoru se pak ukládaly naměřené výsledky mechanického namáhání.



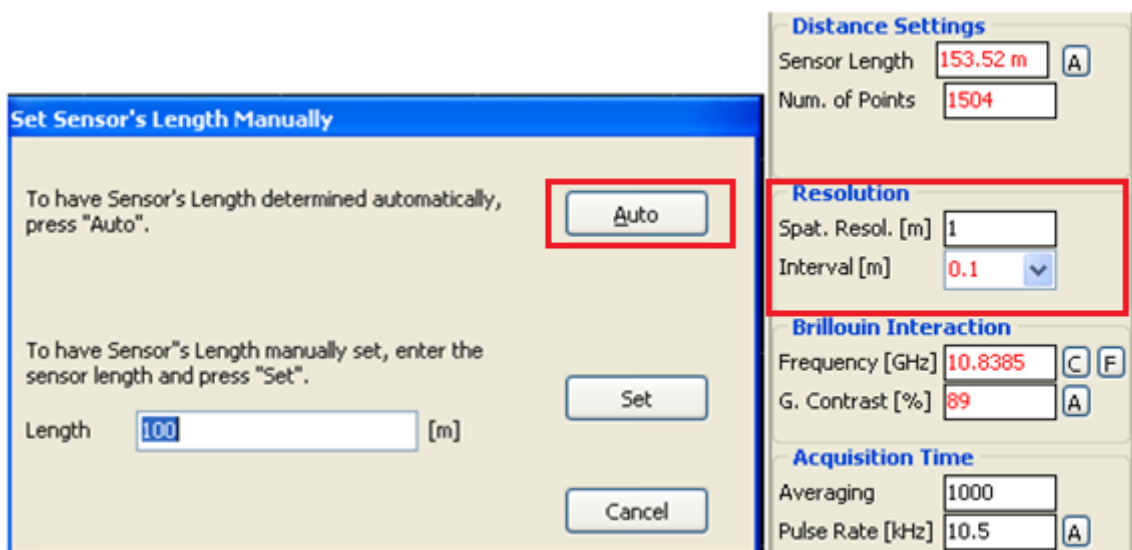
Obrázek 4.20: Vytvoření a pojmenování nového senzoru

Následně bylo potřeba zvolit kanál, přes který bude provedeno měření. DSTS systém DITEST STA-R™ má dva nezávislé kanály sloužící pro toto měření (viz kapitola 3.2 parametry přístroje DITEST STA-R™). Všechna měření byla provedena na prvním kanálu (obrázek 4.21).



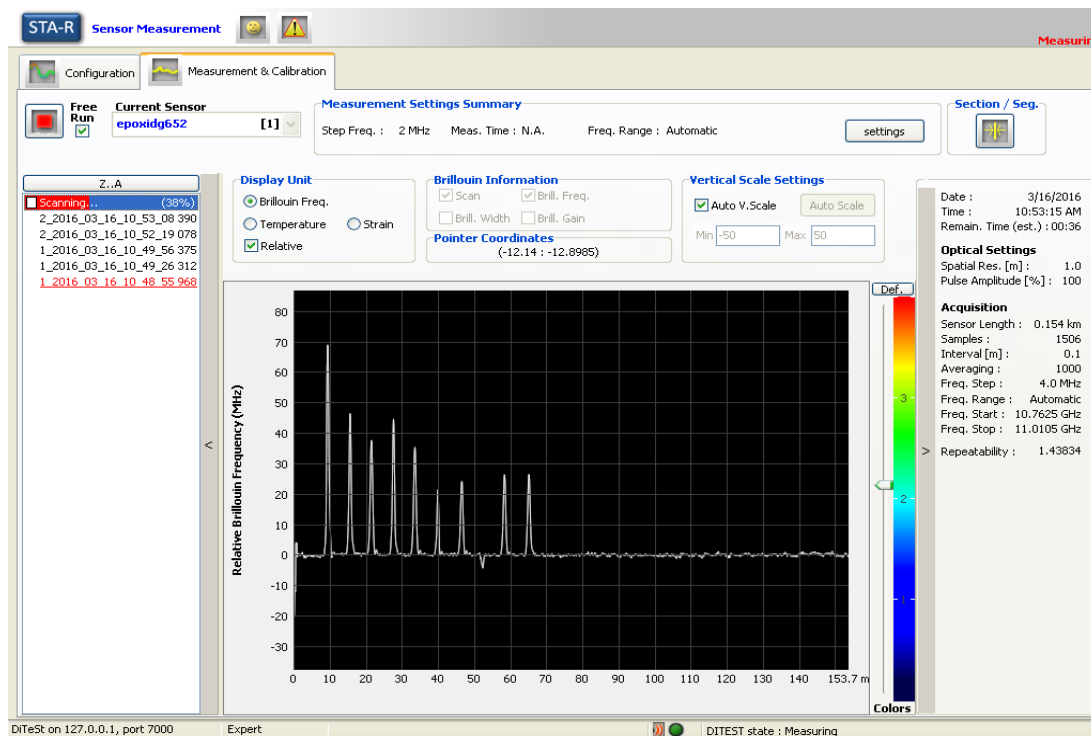
Obrázek 4.21: Zvolený měřicí kanál

Dále bylo nutné navolit požadované parametry měření. Nastavení délky měřeného optického vlákna není nutné. DSTS systém je schopen délku optického vlákna změřit s prostorovým rozlišením 1 m na délku 20 km, při všech kalibracích byla tedy zvolena možnost „Auto“ (obrázek 4.22). Další podstatný parametr pro přesnost měření je interval v jakých vzdálenostech bude DSTS systém měřit mechanické napětí. V těchto měřeních byl všude zvolen interval s prostorovým rozlišením 0,1 m. To znamená že DSTS systém proměří dané optické vlákno po kroku 0,1 m. Dále je už také v nastavení, a to z předchozího kroku autokonfigurace vidět délka námi měřeného optického vlákna, která činí 153,52 m. V poslední řadě bylo nutné klíčem zapnout laser.



Obrázek 4.22: Zleva: Autokonfigurace délky optického vlákna, nastavení prostorového rozlišení

Následně byl spuštěn kalibrační náměr tohoto senzoru, který trvá průměrně 1-2 minuty. Poté musí být náměr senzoru pozastaven, aby bylo možné opět přejít do „menu“ STAR-R a zvolit zde položku Sensor Measurement, po které se zobrazí okno „Measurement & Calibration“, ve kterém už probíhá samotné měření mechanického napětí optického vlákna. Na obrázku 4.23 jsou zobrazeny první náměry Brillouinovských frekvencí z měření mechanického namáhání optického vlákna.



Obrázek 4.23: Měření mechanického namáhání optického vlákna

Posledním krokem, pro viditelné rozdíly mezi body různého mechanického namáhání bylo nutné na první náměr, (1_2016...) který je na obrázku 4.23 vybarven červeně, kliknout pravým tlačítkem myši a zvolit položku „Set baseline“. Tento krok nám z prvního náměru vytvoří nulový bod, od kterého se budou zobrazovat rozdíly jednotlivých naměřených Brillouinovských frekvencí (stupňů) mechanického namáhání.

5 Zpracování a rozbor naměřených výsledků

Jak již bylo výše zmíněno, celkově bylo změřeno a mechanicky namáháno 13 kusů plechových podložek. Na tyto byly různými způsoby připevněny celkem čtyři druhy optických vláken. V této kapitole budou naměřené výsledky analyzovány, popsány a zpracovány.

5.1 Optické vlákno G.652.D

Tímto optickým vláknem byly osazeny čtyři kusy plechových, mechanicky namáhaných podložek. Na dva kusy plechových podložek bylo aplikováno lepidlo Mamut Glue od firmy Den Braven. Na jeden kus plechové podložky bylo aplikováno lepidlo Hřebíky a šrouby v tubě, od totožného výrobce. A na poslední podložku bylo aplikováno lepidlo Epoxidová pryskyřice 1200 od firmy Kittfort.

5.1.1 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva trojúhelník

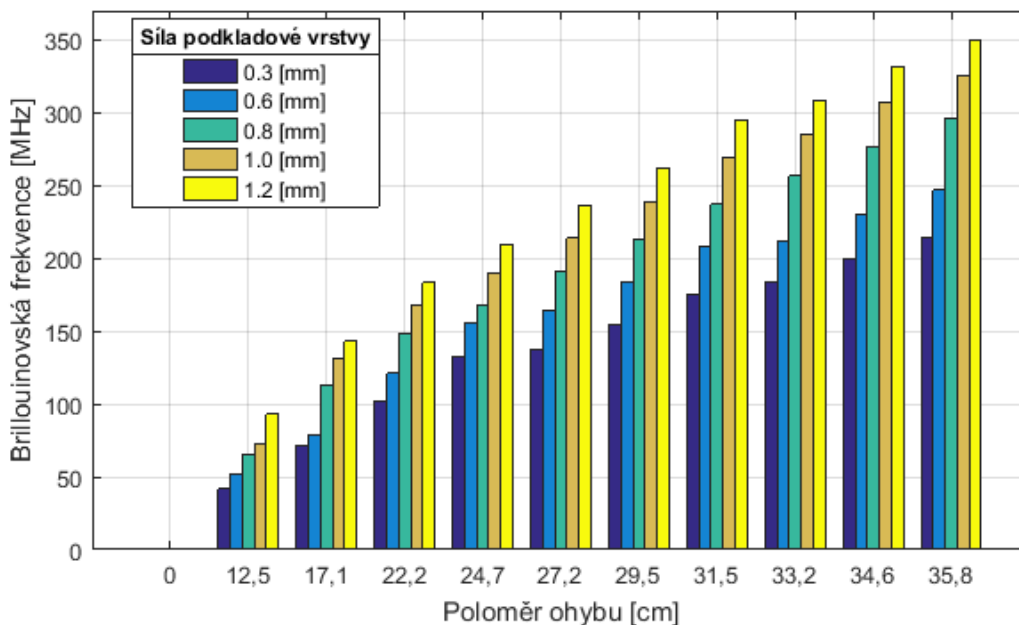
V tabulce 5.1 jsou uvedeny naměřené hodnoty mechanického namáhání optického vlákna G.652.D. Toto vlákno bylo připevněno lepidlem Mamut Glue od výrobce Den Braven a tvar krycí vrstvy optického vlákna je trojúhelník (viz obrázek 4.15 vlevo). V levé části tabulky jsou uvedeny poloměry, při kterých bylo optické vlákno mechanicky namáháno. Nahoře jsou zapsány výšky podkladových vrstev, na které bylo následně po jejich vytvrzení položeno optické vlákno. Dále jsou zde uvedeny naměřené Brillouinovské frekvence. Tyto frekvence byly naměřeny v jednotkách GHz, ale po označení „Set baseline“, které bylo popsáno v kapitole 4.4 Kalibrace optického vlákna, se zobrazí rozdíly jednotlivých náměrů v jednotkách MHz (viz tabulka 5.1).

Tabulka 5.1: *Optické vlákno G.652.D, lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: trojúhelník*

Poloměr namáhání [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	41,7910	51,7139	64,7368	72,7139	93,2436
17,1	71,4755	78,6066	113,0743	130,7979	143,1508
22,2	102,3583	120,9044	148,9635	167,5839	183,3615
24,7	133,0857	155,5219	167,9430	190,4964	209,0960
27,2	136,9076	163,9152	191,3910	214,0808	236,6943
29,5	154,1753	183,5575	213,4671	238,9364	262,2447
31,5	174,8114	208,7073	237,4268	268,9905	294,8513
33,2	183,8470	212,2684	256,4897	284,7772	308,2838
34,6	200,1658	229,7297	277,1850	307,5695	332,1304
35,8	213,9626	246,9049	296,4134	325,3214	349,3986

DSTS systémem byly naměřeny hodnoty v rozmezí 41,7910 - 349,3983 MHz. Pokud budeme na naměřené hodnoty nahlížet po jednotlivých výškách podkladové vrstvy (po sloupcích), tak je zde zřetelné, že je DSTS systém pro všechny výšky podkladových vrstev schopen mechanické namáhání změřit. A ani nejvyšší podkladová vrstva lepidla Mamut Glue (1,2 mm) mechanické namáhání nepohltila, to se plně projevilo na naměřených výsledcích. Pokud budeme naměřené hodnoty analyzovat po řádcích tabulky, tak zjistíme u každého poloměru deformace taktéž vyšší naměřenou

hodnotu. Tento fakt je pravděpodobně způsoben tím, že čím je vyšší síla podkladové vrstvy (výška podkladové vrstvy), tím je prakticky na optické vlákno při jeho mechanickém namáhání vyvinuta větší síla. Toto mohlo být způsobeno tím, že optické vlákno bylo deformováno na přípravku na měření ohybem. Takže při podkladové vrstvě 0,3 mm bylo optické vlákno méně namáháno, než u dalších, silnějších podkladových vrstev. Pro přehlednost je z naměřených hodnot vykreslen graf, na kterém jsou naměřené výsledky zřetelněji čitelné.



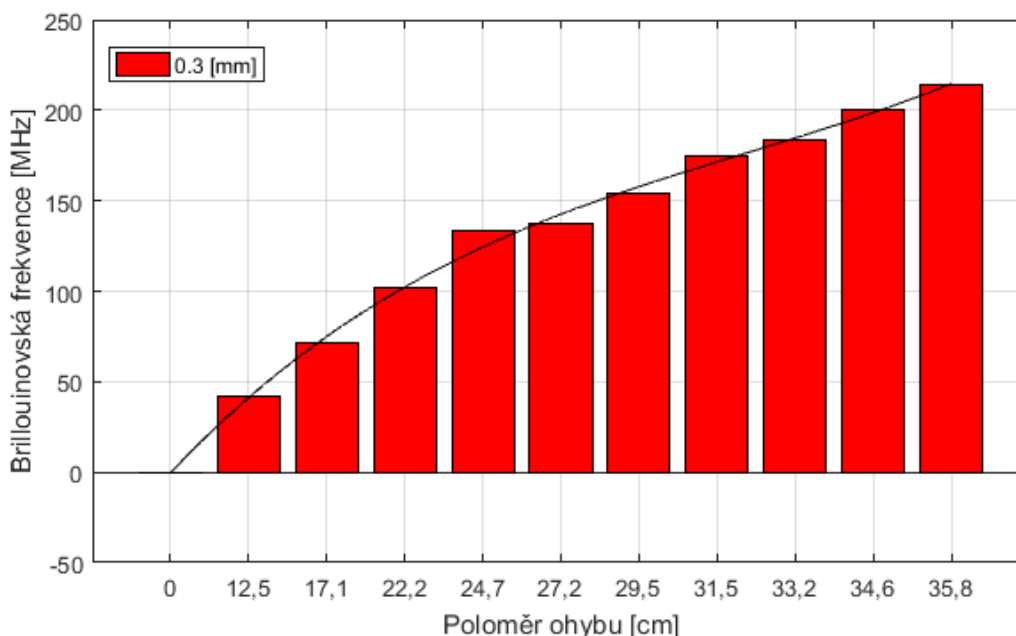
Obrázek 5.1: Graf vykreslený z hodnot tabulky 5.1. Vlákno: G.652.D, druh lepidla: Mamut Glue, tvar krycí vrstvy: trojúhelník

Na grafu 5.1 jsou vykresleny hodnoty z tabulky 5.1. Tento graf znázorňuje rozdíly naměřených hodnot optického vlákna, které bylo uchyceno na různě silné podkladové vrstvy. Z grafu je zřetelné, že čím vyšší je podkladová vrstva, tím vyšší jsou naměřené hodnoty Brillouinové frekvence. Tento fakt je pravděpodobně způsoben tím, že optické vlákno bylo mechanicky namáháno ohybem plechové podložky, ke které bylo optické vlákno připevněno. Tedy, čím byla podkladová vrstva optického vlákna silnější, tím větší bylo i mechanické namáhání optického vlákna při ohybu plechové podložky. Právě z tohoto důvodu jsou naměřeny rozdílné hodnoty mezi jednotlivými „výškami“ podkladové vrstvy.

Pro lepší zobrazení mechanického namáhání na jednotlivých vrstvách byly naměřené hodnoty jednotlivých podkladových vrstev (0,3; 0,6; 0,8; 1,0 a 1,2 mm) vykresleny do grafů jednotlivě. Do těchto grafů byla dále vykreslena regresní křivka s polynomem třetího řádu, čímž byly vyjádřeny i empirické relace. Pro toto měření je však polynom třetího řádu dostačující a je z něj patrné, že po celou dobu křivka kontinuálně roste. Na obrázcích 5.2 – 5.6 jsou vykresleny grafy pro jednotlivé podkladové vrstvy.

Na obrázku 5.2 je vykreslen graf pro podkladovou vrstvu 0,3 mm. Je na něm vidět, že při každém dalším kroku mechanického namáhání optického vlákna (horizontální osa) Brillouinova

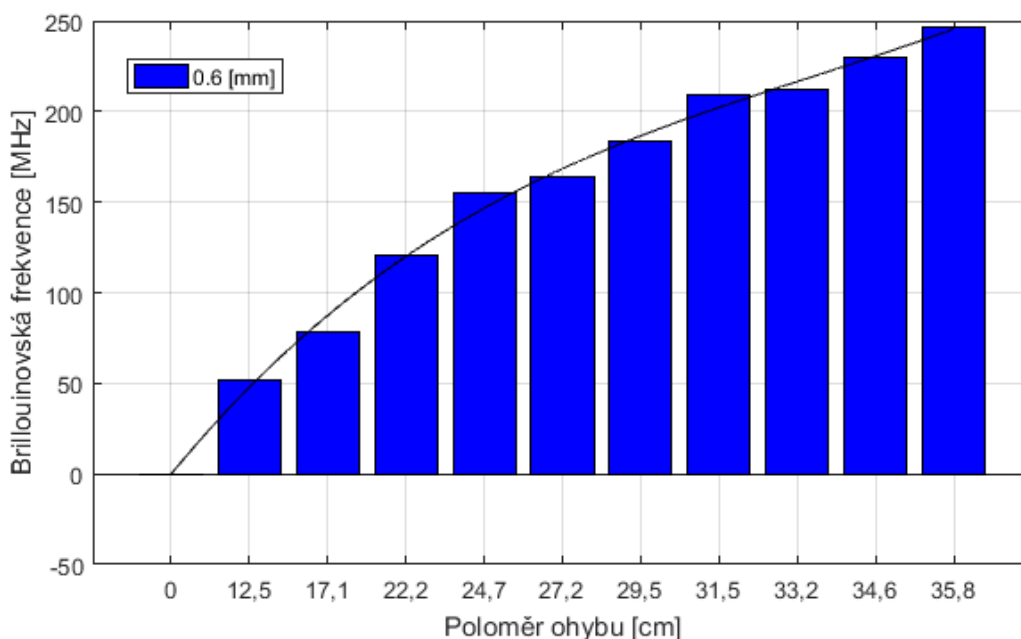
frekvence vzroste. Nejmenší rozdíl mezi jednotlivými stupni namáhání je mezi poloměrem ohybu 24,7 cm (133,087 MHz) a 27,2 cm (136,9076 MHz) rozdíl mezi těmito dvěma stupni namáhání optického vlákna je tedy pouze 3,8219 MHz. Naopak největší rozdíl byl u podkladové vrstvy 0,3 mm naměřen mezi ohybem 17,1 cm a 22,2 cm. Rozdíl mezi těmito dvěma stupni namáhání činil 30,88 MHz.



Obrázek 5.2: Graf lepidla Mamut Glue, podkladová vrstva 0,3 mm

Na obrázku 5.3 je vykreslen graf z naměřených hodnot podkladové vrstvy 0,6 mm. V tomto grafu je také vykreslena regresní křivka polynomu třetího řádu a tím byly vyjádřeny i empirické relace, které byly třetím bodem zadání diplomové práce. Regresní křivka v tomto grafu také kontinuálně roste. Při porovnání grafů zobrazených na obrázcích 5.2 a 5.3 je možné konstatovat, že oba grafy mají téměř identický průběh.

U grafu zobrazeného na obrázku 5.3 jsou „pouze“ naměřeny vyšší hodnoty Brillouinové frekvence z důvodu vyšší podkladové vrstvy.



Obrázek 5.3: Graf lepidla Mamut Glue, podkladová vrstva 0,6 mm

Jelikož mají u tohoto stylu uchycení grafy pro ostatní podkladové vrstvy (0,8; 1,0 a 1,2 mm) téměř stejné průběhy, jsou uvedeny v příloze A.

V tabulce 5.2 je uvedena regresní rovnice, dále koeficienty p_1 - p_4 , ze kterých je vypočítána regresní křivka, která je vykreslena v jednotlivých grafech. Dále je zde uveden koeficient věrohodnosti R^2 , ten vyjadřuje míru spolehlivosti vykreslení grafu. Čím více se tento koeficient blíží k číslu jedna, tím více je regresní křivka blíže naměřeným průběhům. V levé části je sloupec označen $f(x)$, ve kterém jsou uvedeny hodnoty podkladových vrstev. To znamená, že například: první řádek je funkce $f(x)$ pro podkladovou vrstvu o síle 0,3 mm.

Tabulka 5.2: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu trojúhelník

$f(x) = p_1 \cdot x^3 + p_2 \cdot x^2 + p_3 \cdot x + p_4$					
$f(x)$	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p_1	p_2	p_3	p_4	R^2
0,3 (graf 5.2)	-0,0012	0,1549	1,8550	-0,4788	0,9956
0,6 (graf 5.3)	-0,0029	0,2582	1,2700	-0,0616	0,9959
0,8(příloha A)	0,0020	0,0039	5,5500	-0,9352	0,9970
1,0 (příloha A)	0,0012	0,0421	5,9650	-1,0230	0,9961
1,2 (příloha A)	0,0024	-0,0313	7,8590	-0,3688	0,9990

5.1.2 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva 1 mm ovál

Toto měření bylo provedeno zároveň s předchozím měřením na totožné, mechanicky namáhané plechové podložce. Rozdíl byl u krycí vrstvy optického vlákna. V tomto případě bylo lepidlo setřeno krycí vrstvou 1 mm ovál. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5.3.

Tabulka 5.3: *Optické vlákno G.652.D, lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 1 mm ovál*

Poloměr namáhání [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	41,3237	47,4658	56,2248	60,5984	86,9708
17,1	66,1917	91,2952	110,1871	121,9153	133,6061
22,2	98,0616	120,9044	146,6994	156,9091	173,0232
24,7	119,8993	155,0331	168,8523	194,3341	231,2274
27,2	129,6177	174,3336	193,5124	211,4701	276,7530
29,5	141,0227	188,7174	212,2803	238,2808	290,1220
31,5	179,3547	215,7354	235,0307	273,8218	299,9401
33,2	171,8593	209,2252	233,8386	266,9535	327,0617
34,6	186,2178	225,7905	254,1791	284,5082	352,1223
35,8	197,9122	242,4784	280,0036	305,0194	361,3454

Při tomto měření byly DSTS systémem naměřeny hodnoty v rozmezí 41,3237 - 361,3454 MHz. Hodnota Brillouinovské frekvence 41,3237 MHz byla naměřena u nejmenší podkladové vrstvy (0,30 mm) a nejmenšího poloměru namáhání. Největší Brillouinovská frekvence (361,3454 MHz) byla naopak naměřena u výšky podkladové vrstvy 1,2 mm a největšího mechanického namáhání (poloměru ohybu 35,8 cm). Při tomto měření nebyly naměřeny žádné anomálie v podobě nesrozumitelných naměřených výsledků. Graf vykreslený z těchto hodnot je prakticky stejného průběhu jako graf 5.1. Z tohoto důvodu je graf uveden v příloze B.

Z naměřených hodnot byly opět vykresleny grafy pro každou podkladovou vrstvu (0,3; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 mm) zvlášť, kdy každým z těchto grafů je proložena regresní křivka. Tyto grafy jsou rovněž uloženy v příloze B z důvodu téměř totožného, kontinuálního růstu. (jako v grafech na obrázcích 5.2 a 5.3).

Popis níže uvedené tabulky 5.4 je uveden v odstavci nad tabulkou 5.2 (str. 45).

Tabulka 5.4: *Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 1 mm ovál*

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3 (příloha B)	-0,0016	0,1707	1,4297	-0,0159	0,9912
0,6 (příloha B)	-0,0053	0,3668	0,2882	-0,2319	0,9941
0,8 (příloha B)	-0,0031	0,2489	2,6334	-1,0044	0,9937
1,0 (příloha B)	-0,0055	0,3891	1,4334	-0,5693	0,9938
1,2 (příloha B)	-0,0054	0,4100	2,2682	0,6238	0,9924

5.1.3 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva 0,5 mm ovál

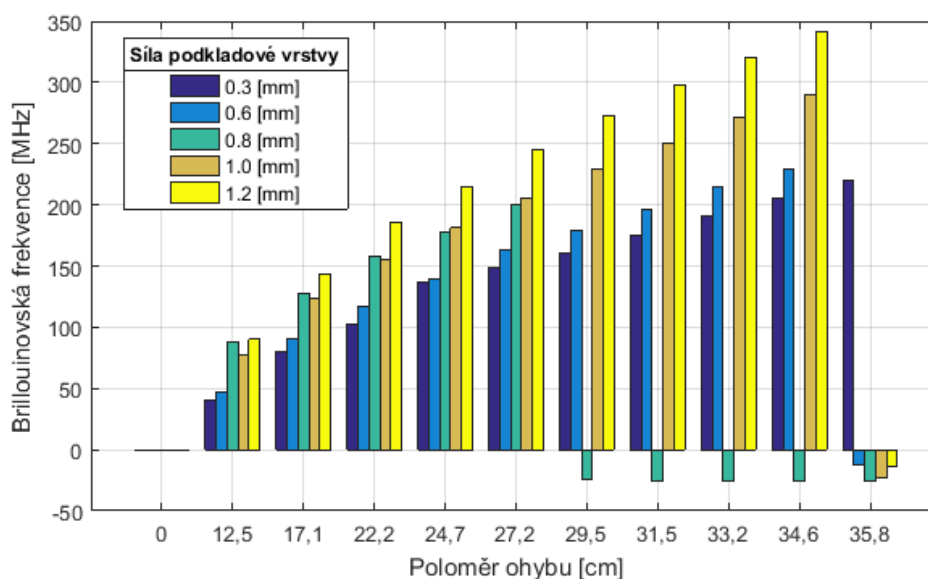
V tabulce 5.5 jsou uvedeny naměřené hodnoty pro tvar krycí vrstvy ovál, optické vlákno však v tomto případě překrývala pouze 0,5 mm silná vrstva lepidla. Při této krycí vrstvě už byly naměřeny nestandardní hodnoty (viz tabulka 5.5).

První, nestandardní hodnota byla naměřena u části optického vlákna, které bylo umístěno na podkladové vrstvě o výšce 0,8 mm. Při poloměru namáhání 29,5 cm už nebyly naměřeny kladné Brillouinovské frekvence, jako tomu bylo doposud. Od tohoto stupně namáhání byla naměřena záporná Brillouinovská frekvence (-24,8451 MHz), která byla záporná do posledního stupně namáhání. Záporné hodnoty Brillouinovské frekvence byly naměřeny i u dalších podkladových vrstev (0,6 -1,2 mm) u poloměru namáhání 35,8 cm. V tabulce 5.5 jsou pro přehlednost záporné Brillouinovské frekvence zvýrazněny. Z naměřených hodnot byly opět vykresleny grafy.

Tabulka 5.5: *Optické vlákno G.652.D, lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,5 mm ovál*

Poloměr namáhání [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	40,9088	46,6838	88,2959	77,0783	90,4493
17,1	79,9155	91,0187	127,7103	123,4941	143,5094
22,2	102,5081	117,4383	158,2737	154,7062	186,2836
24,7	136,4261	139,8331	177,5689	181,5621	214,5723
27,2	149,0622	162,5967	199,8157	205,7662	244,7462
29,5	160,7575	179,2159	-24,8451	229,3692	272,7222
31,5	175,1056	196,7197	-25,6812	250,7858	298,2626
33,2	190,5808	214,3278	-25,5846	271,3876	320,2324
34,6	205,2641	229,6691	-25,5631	290,5493	341,365
35,8	219,6574	-12,3568	-25,3165	-23,4651	-13,2356

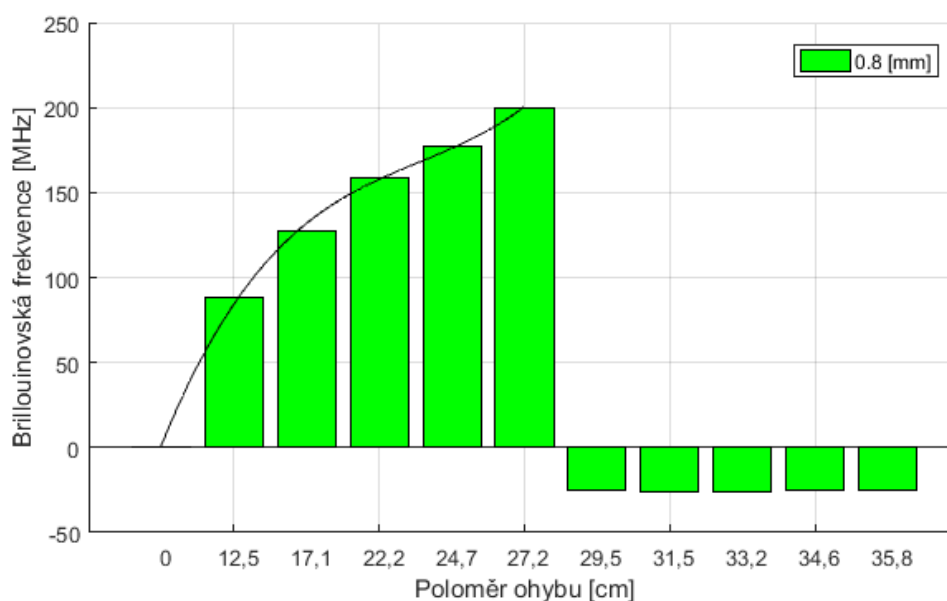
Na obrázku 5.4 je uveden graf z naměřených hodnot pro krycí vrstvu optického vlákna 0,5 mm ovál, na kterém jsou vykresleny všechny podkladové vrstvy a jsou zde přehledně zobrazeny výše zmiňované naměřené hodnoty. Je zde zřetelně vidět, že DSTS systém naměřil u optického vlákna připevněného na podkladové vrstvě 0,8 mm zápornou Brillouinovskou frekvenci. Tyto záporné hodnoty DSTS systém naměřil i při největším poloměru ohybu (35,8 cm), kdy byly záporné Brillouinovské frekvence naměřeny u optického vlákna položeného na podkladových vrstvách o síle 0,6 mm, 0,8 mm, 1,0 mm a 1,2 mm. Při tomto poloměru ohybu tedy už není možné mechanické namáhání u těchto vrstev měřit.



Obrázek 5.4: Graf vykreslený z hodnot tabulky 5.5. Vlákn: G.652.D, druh lepidla: Mamut Glue, tvar krycí vrstvy: 0,5 mm ovál

Tabulka s regresní rovnicí, koeficienty (p_1 - p_4) a koeficienty věrohodnosti R^2 pro všechny podkladové vrstvy je uvedena v příloze C.

Na obrázku 5.5 je uveden graf vykreslený z naměřených hodnot namáhaného optického vlákna připevněného na podkladovou vrstvu 0,8 mm. Na tomto grafu je zřetelně vidět, že DSTS systém byl schopen měřit mechanické namáhání na optickém vlákně do poloměru ohybu 27,2 cm. Při překonání tohoto „zlomového“ stupně spadla Brillouinovská frekvence do záporných hodnot, a po celou dobu dalšího mechanického namáhání zůstala Brillouinovská frekvence v záporných číslech. Optické vlákno je tedy v tomto stádiu jako senzor nepoužitelné. V grafu je rovněž vykreslena polynomická regrese třetího řádu. Ostatní grafy jednotlivých vrstev jsou uvedeny v příloze C.



Obrázek 5.5: Graf lepidla Mamut Glue, podkladová vrstva 0,8 mm

5.1.4 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva 0,2 mm ovál

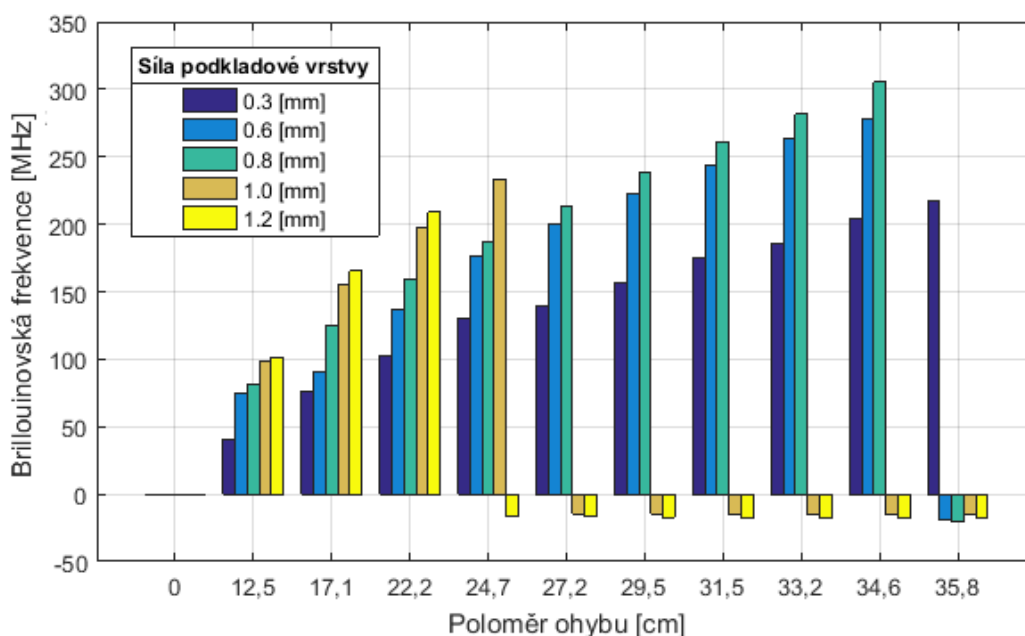
V tabulce 5.6 jsou uvedeny naměřené hodnoty mechanicky namáhaného optického vlákna, které bylo k plechové, mechanicky namáhané podložce připevněno krycí vrstvou lepidla Mamut Glue o tvaru oválu a vrstvě 0,2 mm, což je nejmenší nanášená krycí vrstva.

První, nestandardní hodnota byla naměřena u části optického vlákna, které bylo umístěno na podkladové vrstvě o výšce 1,2 mm. Při poloměru namáhání 24,7 cm už nebyly naměřeny kladné Brillouinovské frekvence. Od tohoto stupně namáhání byla naměřena záporná Brillouinovská frekvence (-16,0842 MHz), která byla záporná do posledního stupně namáhání. Záporné hodnoty Brillouinovské frekvence byly pro tuto část podkladové vrstvy (1,2 mm) naměřeny i u dalších kroků namáhání. Záporné Brillouinovské frekvence byly naměřeny i u optického vlákna připevněného na podkladové vrstvě 1,0 mm. V tomto případě nastal „propad“ Brillouinovských frekvencí u poloměru ohybu 27,2 cm. U podkladových vrstev 0,8 mm a 0,6 mm byly tyto záporné frekvence naměřeny při posledním stupni namáhání (35,8 cm).

Na obrázku 5.6 je z naměřených hodnot vykreslen graf všech podkladových vrstev, na které jsou výše popisované hodnoty zřetelně čitelné.

Tabulka 5.6: Optické vlákno G.652.D, lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,2 mm ovál

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinová frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	40,3552	75,4118	81,8281	98,5103	101,3699
17,1	76,3655	91,0187	125,1736	155,8666	165,6485
22,2	102,9224	137,4383	158,8473	197,4711	209,0640
24,7	130,5428	176,0106	187,3260	233,1829	-16,0842
27,2	138,9298	200,0012	213,5038	-14,4621	-16,5231
29,5	156,5914	221,9934	238,1029	-14,4321	-17,1235
31,5	175,5843	243,5579	261,3769	-15,3912	-17,6981
33,2	185,5843	263,5579	281,3769	-15,3934	-17,6912
34,6	203,5031	278,1411	305,3473	-15,4652	-17,5865
35,8	217,6995	-19,1841	-20,1325	-15,5312	-17,8965

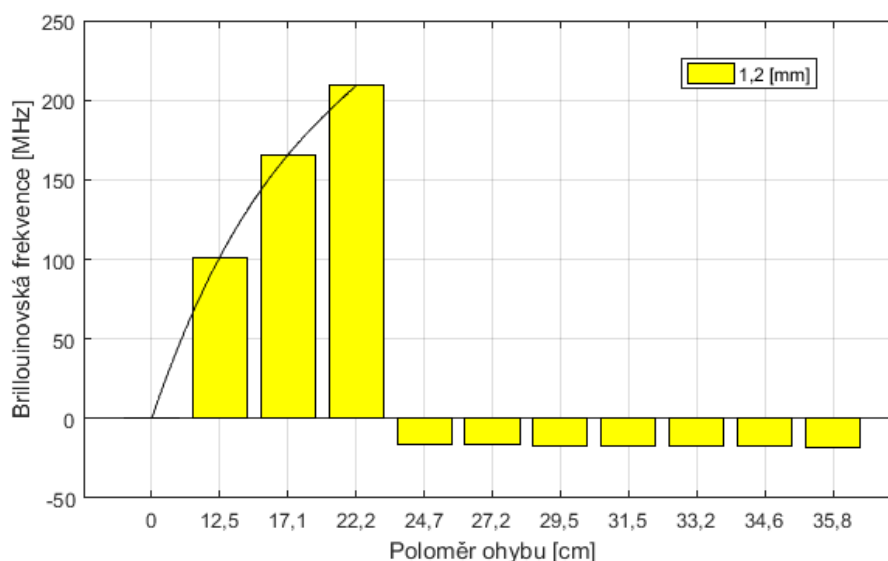


Obrázek 5.6: Graf vykreslený z hodnot tabulky 5.5. Vlákno: G.652.D, druh lepidla: Mamut Glue, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál

Na obrázku 5.6 je zřetelné, že při poloměru ohybu (24,7 cm) přestalo optické vlákno připevněné na podkladové vrstvě o síle 1,2 mm fungovat jako senzor. Při dalším stupni mechanického namáhání (27,2 cm) přestalo podle Brillouinové frekvence také vykazovat známky namáhání optické vlákno připevněné na podkladové vrstvě o síle 1,0 mm. Další optická vlákna, která byla připevněna na ostatních podkladových vrstvách, vykazovala podle Brillouinové frekvence mechanické namáhání až do poloměru ohybu 34,6 cm. Avšak při dalším stupni namáhání 35,8 cm byly DSTS systémem naměřeny záporné frekvence u všech optických vláken umístěných na podkladových vrstvách (1,2; 1,0; 0,8; 0,6 mm) vyjma části optického vlákna umístěného na podkladové vrstvě 0,3 mm.

Domnívám se, že záporné Brillouinovské frekvence byly u poloměru ohybu 24,7 cm a síly podkladové vrstvy 1,2 mm naměřeny z toho důvodu, že síla, která při mechanickém namáhání působila právě na tuto část optického vlákna, byla u podkladové vrstvy 1,2 mm podstatně větší, než síla působící na část optického vlákna připevněného například k podkladové vrstvě o síle 0,3 mm. Je tedy pravděpodobné, že krycí vrstva „0,2 mm ovál“ toto optické vlákno neudržela, a právě proto byly naměřeny záporné Brillouinovské frekvence.

Tato úvaha je možná i v případech dalších stupňů namáhání. A to proto, že další záporná Brillouinovská frekvence byla naměřena u části optického vlákna umístěného na podkladové vrstvě o síle 1,0 mm, při poloměru ohybu 27,2 cm. A také v nejvyšším stupni namáhání (35,8 cm) u všech podkladových vrstev, kromě části optického vlákna umístěného na podkladové vrstvě 0,3 mm.



Obrázek 5.7: *Graf lepidla Mamut Glue, podkladová vrstva 1,2 mm*

Na obrázku 5.7 je zobrazen graf z naměřených hodnot mechanického namáhání pro podkladovou vrstvu 1,2 mm. Je zde zároveň vykreslena regresní křivka vyjadřující míru spolehlivosti vykreslení grafu. Regresní křivka je záměrně proložena jen pro kladné Brillouinovské frekvence, protože vynesení této křivky do záporných frekvencí pro nás nemá z hlediska senzoriky žádný význam.

Popis níže uvedené tabulky 5.7 je uveden v odstavci nad tabulkou 5.2 (str. 45).

Tabulka 5.7: *Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 0,2 mm ovál*

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3 (příloha D)	-0,0018	0,1830	1,7440	-0,6614	0,9920
0,6 (příloha D)	-0,0012	0,1626	2,4176	0,5519	0,9973
0,8 (příloha D)	0,0011	0,0403	7,5943	0,1531	0,9987
1,0 (příloha D)	0,0018	0,0038	6,3399	0,3939	0,9987
1,2 (graf 5.7)	0,0004	0,0803	6,5136	0,3076	0,9992

Ostatní grafy vykreslené z naměřených hodnot pro jednotlivé vrstvy včetně regresních křivek jsou uvedeny v příloze D.

5.1.5 Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva trojúhelník

V tomto případě byly podkladové i krycí vrstvy sloužící k připevnění optického vlákna k mechanicky namáhané plechové podložce realizovány lepidlem Hřebíky a šrouby v tubě od výrobce Den Braven. V tabulce 5.8 jsou uvedeny naměřené hodnoty mechanického namáhání optického vlákna připevněného tímto lepidlem ve tvaru krycí vrstvy trojúhelník.

Tabulka 5.8: *Optické vlákno G.652.D, lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: trojúhelník*

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	27,5307	30,3736	45,0788	39,9866	44,2023
17,1	39,6576	43,0813	64,4774	58,8603	63,3583
22,2	44,7869	47,5234	72,6008	65,9208	66,0458
24,7	50,0674	51,4441	78,6896	71,1317	68,6326
27,2	52,4716	53,2875	83,2152	74,9664	69,6855
29,5	54,3003	53,7019	85,6772	75,9387	69,7205
31,5	55,5949	55,2406	87,0285	77,7231	69,8538
33,2	56,9329	56,3121	88,5787	78,4392	70,0441
34,6	57,7297	56,5014	88,9727	78,5302	70,1404
35,8	58,0192	57,2624	89,3746	78,6219	70,2906

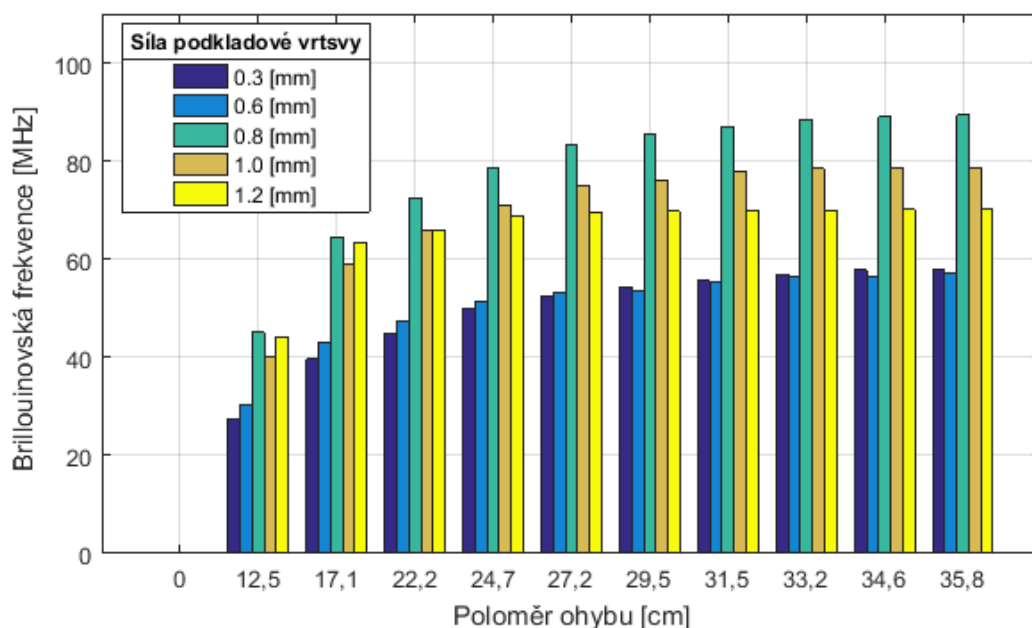
Při pohledu do tabulky 5.8 je zřetelné, že v tomto případě nebyly naměřeny žádné záporné Brillouinovské frekvence. Největší Brillouinovská frekvence zde byla naměřena u podkladové vrstvy 0,8 mm a poloměru ohybu 35,8 cm. Tato hodnota byla 89,3746 MHz. Naopak nejmenší hodnota Brillouinovské frekvence byla naměřena při poloměru ohybu 12,5 cm u podkladové vrstvy 0,3 mm, tato hodnota činila 27,5307 MHz.

Na grafu zobrazeném na obrázku 5.8 sice nejsou Brillouinovské frekvence přesně zobrazeny, avšak celkový náhled je oproti tabulce 5.8 daleko lepší.

Z naměřených hodnot je možné usoudit, že pro toto měření vykazovalo podle Brillouinovské frekvence nejvýraznější hodnoty namáhání optické vlákno připevněné na podkladové vrstvě o síle 0,8 mm. Druhou, nejvíce namáhanou částí optického vlákna byla část optického vlákna umístěna na podkladové vrstvě o síle 1,0 mm. Optické vlákno umístěné na podkladové vrstvě o síle 1,2 mm bylo podle Brillouinovské frekvence „až na třetím místě“ mechanického namáhání.

Domnívám se, že tento fakt mohl být způsoben rozdílnou pružností lepidla Hřebíky a šrouby v tubě, oproti lepidlu Mamut Glue, protože u lepidla Mamut Glue byla při stejném tvaru krycí vrstvy „trojúhelník“ naměřena vždy nejvyšší Brillouinovská frekvence u síly podkladové vrstvy 1,2 mm. Struktura lepidla Hřebíky a šrouby v tubě byla po vytvrzení podstatně pružnější. Z toho důvodu byly také pravděpodobně naměřeny u nejvyšších podkladových vrstev menší Brillouinovské frekvence, protože výška podkladové vrstvy mohla mechanické namáhání pohltit. Tuto skutečnost usuzuji také podle toho, že čím víc jsme optické vlákno namáhali, tím větší byly rozdíly mezi podkladovou vrstvou 0,8 a 1,2 mm.

Z naměřených hodnot tedy lze usoudit, že pro lepidlo Hřebíky a šrouby v tubě, ve tvaru krycí vrstvy trojúhelník je nejvhodnější pro měření mechanického namáhání použít sílu podkladové vrstvy 0,8 mm.



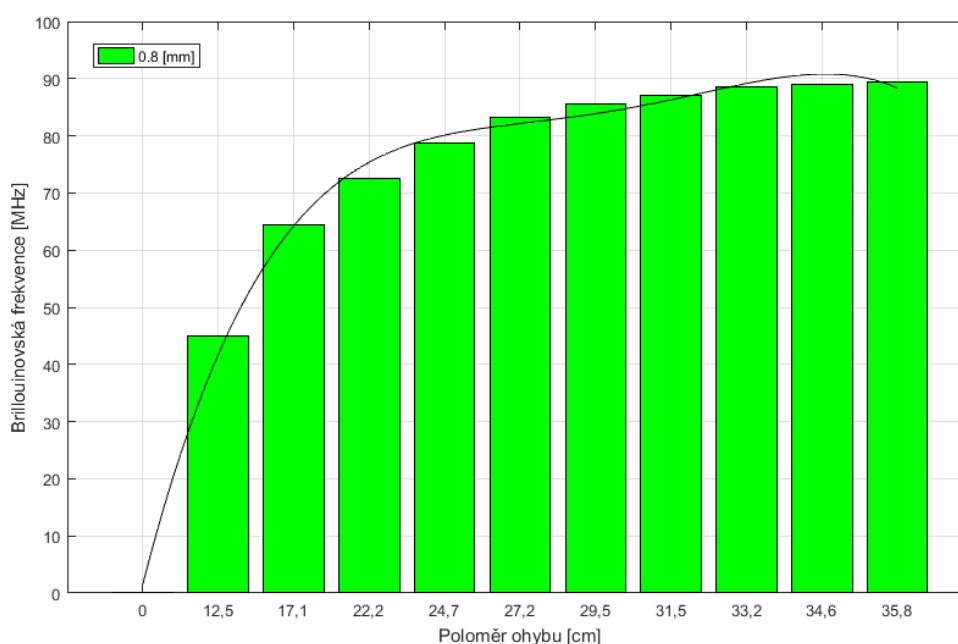
Obrázek 5.8: Graf vykreslený z hodnot tabulky 5.8. Vlákno: G.652.D, druh lepidla: Hřebíky a šrouby v tubě, tvar krycí vrstvy: trojúhelník

Popis níže uvedené tabulky 5.9 je uveden v odstavci nad tabulkou 5.2 (str. 45)

Tabulka 5.9: *Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu trojúhelník*

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3 (příloha E)	0,0004	-0,0086	2,4842	-0,1053	0,9975
0,6 (příloha E)	-0,0001	-0,0425	3,1229	-0,1856	0,9962
0,8 (graf 5.9)	-0,0007	-0,0233	4,1828	-0,1774	0,9977
1,0 (příloha E)	-0,0009	-0,0111	3,6907	-0,2332	0,9964
1,2 (příloha E)	0,0005	-0,1094	5,1508	-0,3877	0,9912

Na obrázku 5.9 je vykreslen graf mechanického namáhání optického vlákna umístěného na podkladové vrstvě o síle 0,8 mm. V tomto grafu je také vykreslena regresní křivka. Koeficient věrohodnosti R^2 je v tomto případě 0,9977. Ostatní grafy vykreslené z naměřených hodnot jednotlivých vrstev jsou uvedeny v příloze E.



Obrázek 5.9: *Graf lepidla Hřebíky a šrouby v tubě, podkladová vrstva 0,8 mm, krycí vrstva trojúhelník*

5.1.6 Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva 1 mm ovál

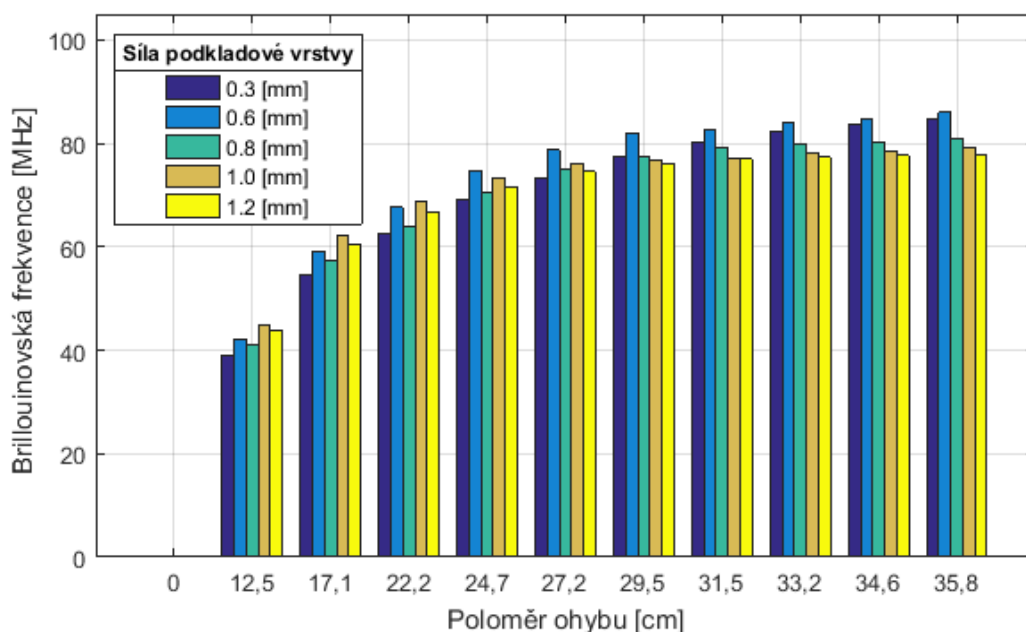
V tabulce 5.10 jsou uvedeny naměřené hodnoty mechanicky namáhaného optického vlákna, které bylo k plechové, mechanicky namáhané podložce připevněno krycí vrstvou lepidla Hřebíky a šrouby v tubě, ve tvaru krycí vrstvy 1 mm ovál, což je v případě tohoto druhu lepidla nejmenší krycí vrstva. Menší krycí vrstvy jsme z technologických důvodů nebyli schopni nanést.

Tabulka 5.10: Optické vlákno G.652.D, lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: 1 mm ovál

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	39,1116	42,0651	41,0514	44,7979	43,9754
17,1	54,6889	59,0882	57,3602	62,1347	60,3886
22,2	62,5505	67,6107	64,0311	68,7885	66,8573
24,7	69,1586	74,7266	70,3616	73,3352	71,6486
27,2	73,3813	78,7534	74,9893	76,0584	74,5397
29,5	77,3568	81,9659	77,6053	76,8323	76,2301
31,5	80,1932	82,6015	79,2683	77,1399	77,0183
33,2	82,4337	83,9755	79,7267	78,1574	77,3554
34,6	83,5395	84,8403	80,2264	78,5258	77,7779
35,8	84,6653	85,9466	80,8196	79,1526	77,9454

V této části měření opět nebyly naměřeny záporné Brillouinovské frekvence (viz tabulka 5.10). Nejmenší Brillouinovská frekvence byla opět naměřena při nejmenším poloměru ohybu (12,5 cm) o síle podkladové vrstvy 0,3 mm. Nejvyšší Brillouinovská frekvence byla naměřena při poloměru 35,8 cm a síle podkladové vrstvy 0,6 mm.

Na obrázku 5.10 je uveden graf vykreslený z naměřených hodnot (tabulka 5.10). Na tomto grafu je zřetelné, že v případě krycí vrstvy 1,0 mm ve tvaru oválu byly naměřeny nejvyšší Brillouinovské frekvence na části optického vlákna připevněného na podkladové vrstvě o síle 0,6 mm. Od poloměru ohybu 31,5 cm se také začala výrazněji zvyšovat Brillouinovská frekvence podkladové vrstvy 0,3 mm (tmavě modrá barva). Naopak při zvyšujícím se mechanickém namáhání (od poloměru ohybu 29,5 cm) byly nejmenší Brillouinovské frekvence naměřeny u podkladové vrstvy o síle 1,2 mm. Lepidlo Hřebíky a šrouby v tubě má tedy při měření většího mechanického namáhání (v tomto případě od poloměru ohybu 29,5 cm do poloměru ohybu 35,8 cm) i na Brillouinovské frekvence „tlumící“ účinek. Je možné, že pružnost lepidla mechanické namáhání „pohltil“.



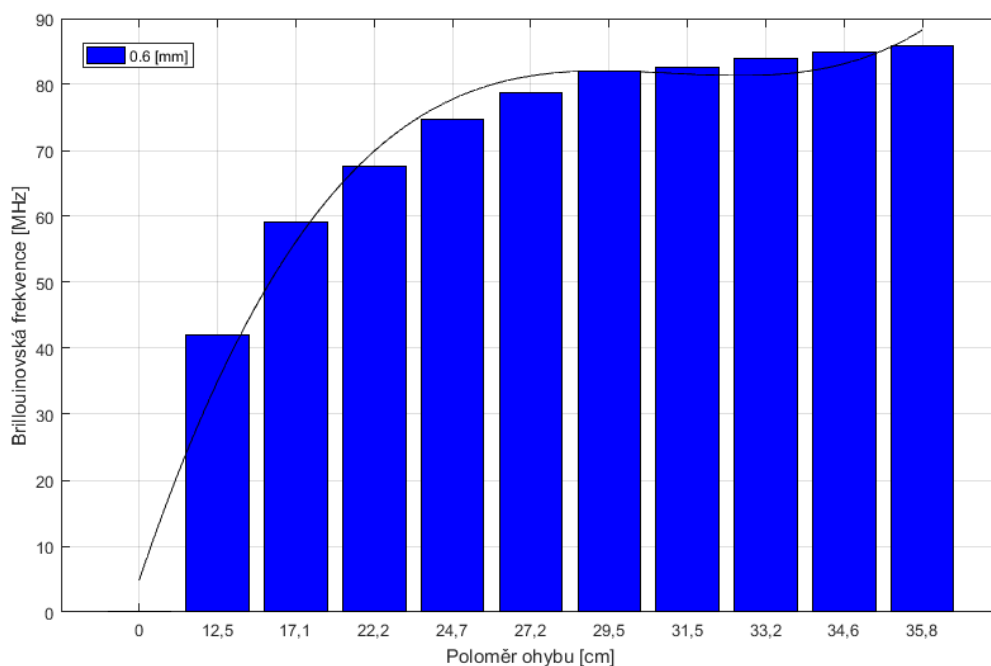
Obrázek 5.10: Graf vykreslený z hodnot tabulky 5.10. Vlákn: G.652.D, druh lepidla: Hřebíky a šrouby v tubě, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál

Popis níže uvedené tabulky 5.11 je uveden v odstavci nad tabulkou 5.2 (str. 45).

Tabulka 5.11: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 1 mm ovál

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x) [mm]	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3 (příloha F)	-0,0002	-0,0287	3,6070	-0,0656	0,9986
0,6 (graf 5.10)	-0,0008	-0,0097	3,7220	-0,1118	0,9983
0,8 (příloha F)	-0,0005	-0,0222	3,7410	-0,0551	0,9977
1,0 (příloha F)	-0,0001	-0,0644	4,6050	-0,2409	0,9970
1,2 (příloha F)	-0,0002	-0,0570	4,4050	-0,1531	0,9971

Na obrázku 5.11 je vykreslen graf z mechanického namáhání optického vlákna umístěného na podkladové vrstvě o síle 0,6 mm. V tomto grafu je také vykreslena regresní křivka. Koeficient věrohodnosti R^2 je v tomto případě 0,9983. Ostatní grafy vykreslené z naměřených hodnot jednotlivých vrstev jsou uvedeny v příloze F.



Obrázek 5.11: *Graf lepidla Hřebíky a šrouby v tubě, podkladová vrstva 0,6 mm, krycí vrstva 1 mm ovál*

5.1.7 Lepidlo: Epoxid. pryskyřice, krycí vrstva: nespecifická (1. část)

Podle dosavadních zkušeností a naměřených výsledků byly ještě před samotnou aplikací lepidla Epoxidová pryskyřice 1200 očekávány nejlepší výsledky. A to z toho důvodu, že toto lepidlo má po vytvrzení ze všech použitých lepidel nejtvrdší strukturu, pevnost a tím pádem i nejmenší pružnost. Pružnost se při minulém měření mechanického namáhání optického vlákna, které bylo připevněno lepidlem Hřebíky a šrouby v tubě výrazně projevila především v části měření, kde bylo optické vlákno více mechanicky namáháno.

Bohužel se nám při aplikaci tohoto typu lepidla nepovedlo zajistit rovnoměrný nános podkladové vrstvy. Jelikož je toto lepidlo dvousložkové, není možné jej zakoupit v kartuši, ze které by bylo možné jej posléze vytlačit výtlačnou pistolí. Do epoxidové pryskyřice je nutné před aplikací lepidla namíchat tvrdidlo P11 z důvodu následného vytvrzení lepidla.

Při samotné aplikaci lepidla na plechovou podložku jsme nebyli i při opakovaných pokusech schopni zajistit již zmiňované síly podkladových vrstev z důvodu roztékání lepidla. Nanášené lepidlo jsme na plechové podložce nechali i několik hodin vytvrdit a teprve poté setřít stěrkou podkladových vrstev. Tyto vrstvy se však po chvíli opět roztékly do stran.

Optické vlákno G.652.D bylo po vytvrzení položeno na nerovnoměrně nanášené vrstvy epoxidové pryskyřice. Následně byla stejným typem lepidla nanášená krycí vrstva, kterou jsme z technologických důvodů rovněž nebyli schopni rovnoměrně nanést.

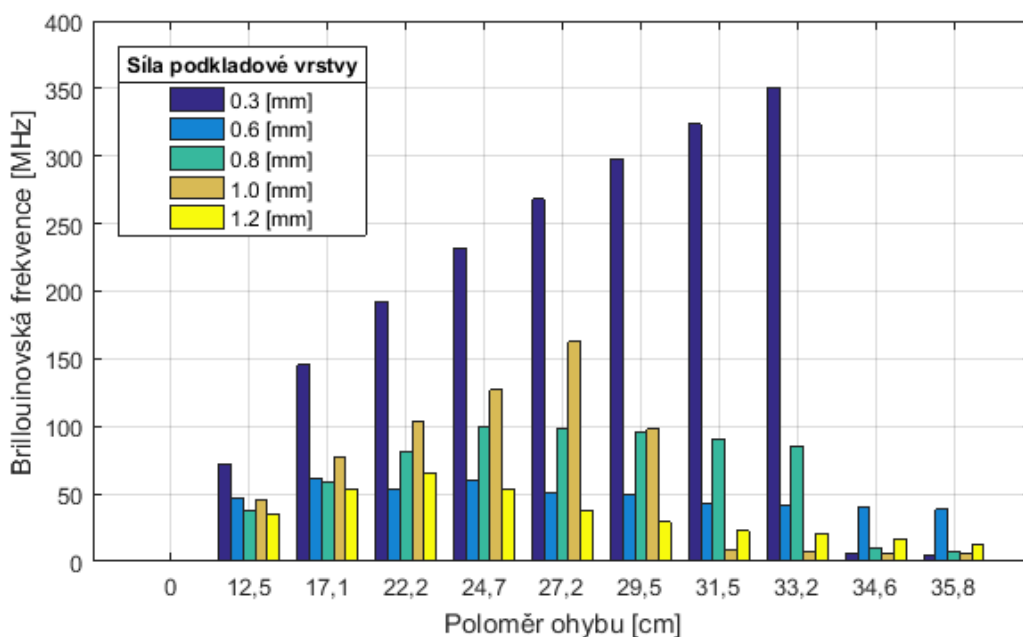
V tabulce 5.12 jsou uvedeny naměřené hodnoty z této části měření. Síly podkladové vrstvy jsou zde uvedeny pouze teoreticky. Již na první pohled je jasné, že Brillouinové frekvence jsou

oproti předchozím měřením nepravidelné. Nejmenší naměřená Brillouinovská frekvence (5,2004 MHz) byla při poloměru ohybu 35,8 cm v části, kde mělo být optické vlákno uchyceno na podkladové vrstvě o síle 0,3 mm. Největší Brillouinovská frekvence byla naměřena při poloměru ohybu 33,2 cm u části optického vlákna, které mělo být rovněž uchyceno na podkladové vrstvě o síle 0,3 mm.

Tabulka 5.12: *Optické vlákno G.652.D, lepidlo: Epoxidová pryskyřice 1200, krycí vrstva: nespecifická*

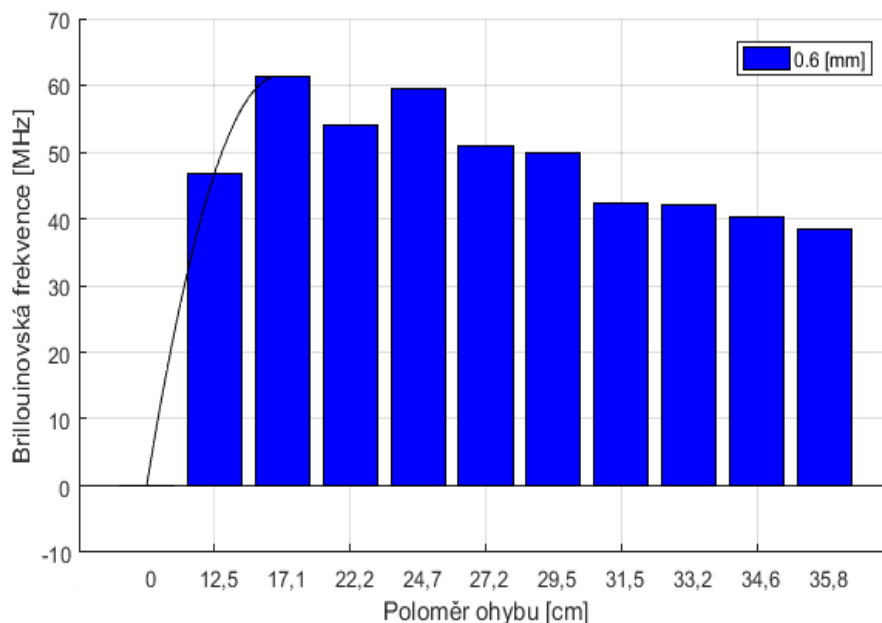
Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	Nedodržena-vedeny teoretické hodnoty				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	71,9824	46,7987	37,6806	44,9133	35,2259
17,1	145,5336	61,4119	59,0439	77,7030	52,8197
22,2	191,8283	53,9155	80,6837	103,7250	65,2714
24,7	231,3633	59,6080	99,7009	126,9741	53,2537
27,2	268,0750	50,8008	97,9385	162,4045	38,0321
29,5	297,4496	49,8157	95,7160	98,0310	29,2349
31,5	323,5040	42,3946	90,4773	7,9752	22,5248
33,2	350,5607	41,9626	85,1722	6,6321	20,9279
34,6	6,0201	40,3631	10,0832	6,3972	16,7732
35,8	5,2004	38,5065	6,8269	5,9042	12,3210

Na obrázku 5.12 je graf vykreslený z hodnot uvedených v tabulce 5.12. Na grafu je zřetelně vidět, jak nerovnoměrné podkladové vrstvy a nános lepidla při mechanickém namáhání optického vlákna G.652.D ovlivnily DSTS systémem naměřené Brillouinovské frekvence. Z grafu je dále možné usoudit, že zřetelné namáhání optického vlákna bylo naměřeno pouze u části optického vlákna, které mělo být umístěno na síle podkladové vrstvy 0,3 mm. Domnívám se, že další naměřené výsledky podle grafu není možné vyhodnotit.



Obrázek 5.12: Graf vykreslený z hodnot tabulky 5.12. Vlákn: G.652.D, druh lepidla: Epoxidová pryskyřice 1200, tvar krycí vrstvy: nespecifický

Na obrázku 5.13 je vykreslen graf z naměřených hodnot uvedených v tabulce 5.12 podkladové vrstvy o teoretické síle 0,6 mm. V tomto grafu je rovněž vykreslena regresní křivka. Ostatní grafy z jednotlivých vrstev tohoto měření jsou uvedeny v příloze G.



Obrázek 5.13: Graf lepidla Epoxidová pryskyřice 1200, podkladová vrstva 0,6 mm (nespecifická)

5.1.8 Lepidlo: Epoxid. pryskyřice, krycí vrstva: nespecifická (2. část)

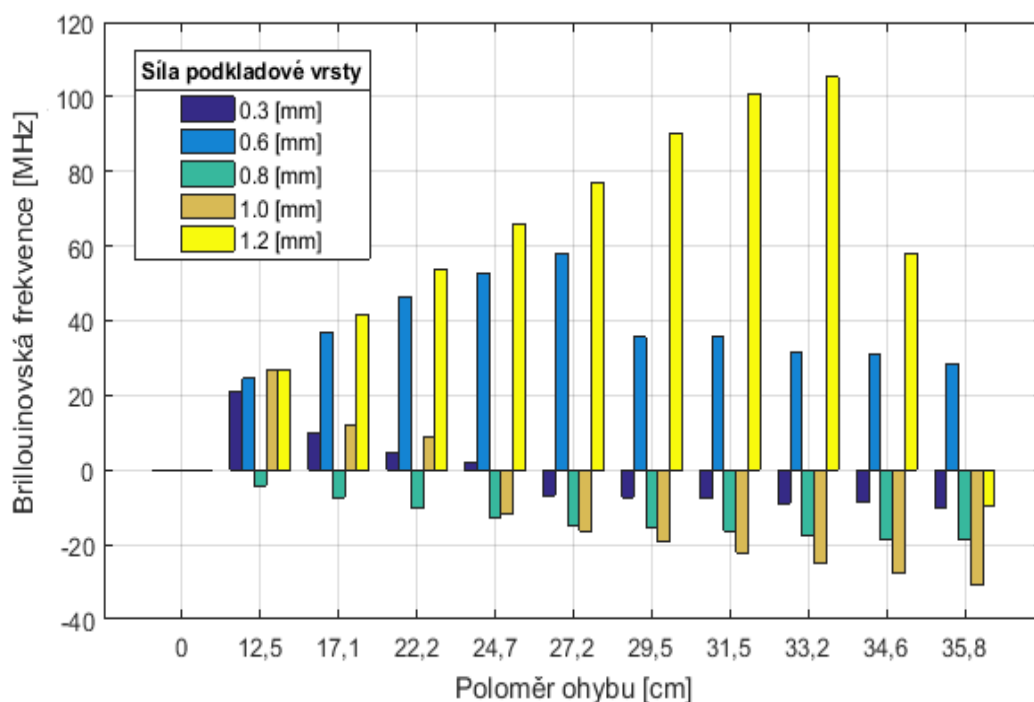
V tabulce 5.13 jsou uvedeny naměřené hodnoty z druhé části plechové, mechanicky namáhané podložky. Síly podkladové vrstvy jsou zde taktéž uvedeny pouze teoreticky. Již na první pohled je jasné, že Brillouinovské frekvence byly opět naměřeny nepravidelně. V tomto případě zde byly dokonce naměřeny záporné Brillouinovské frekvence. Například u poloměru ohybu 35,8 cm na části, kde měla být podkladová vrstva 1,0 mm, byla naměřena frekvence -30,9215 MHz. Nejvyšší naměřená frekvence byla v tomto případě 105,2957 MHz. Tato frekvence byla naměřena na části optického vlákna, kde měla být podkladová vrstva o síle 1,2 mm.

Tabulka 5.13: *Optické vlákno G.652.D, lepidlo: Epoxidová pryskyřice 1200, krycí vrstva: nespecifická (2. část)*

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	Nedodržena-uvedeny teoretické hodnoty				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	21,1711	24,4570	-4,1825	27,0515	26,6814
17,1	10,0765	36,6678	-7,2657	12,0357	41,5716
22,2	4,6512	46,5579	-10,1654	8,5841	53,7257
24,7	1,9623	52,8231	-12,9851	-11,8652	66,0749
27,2	-6,7951	58,1841	-14,6547	-16,3514	77,1933
29,5	-7,2631	35,5978	-15,4631	-19,2354	90,3635
31,5	-7,5631	35,6401	-16,4531	-22,1564	100,7619
33,2	-8,9312	31,2969	-17,7531	-25,1325	105,2957
34,6	-8,6214	30,8498	-18,6521	-27,6521	58,1040
35,8	-10,1521	28,5554	-18,8231	-30,9215	-9,5321

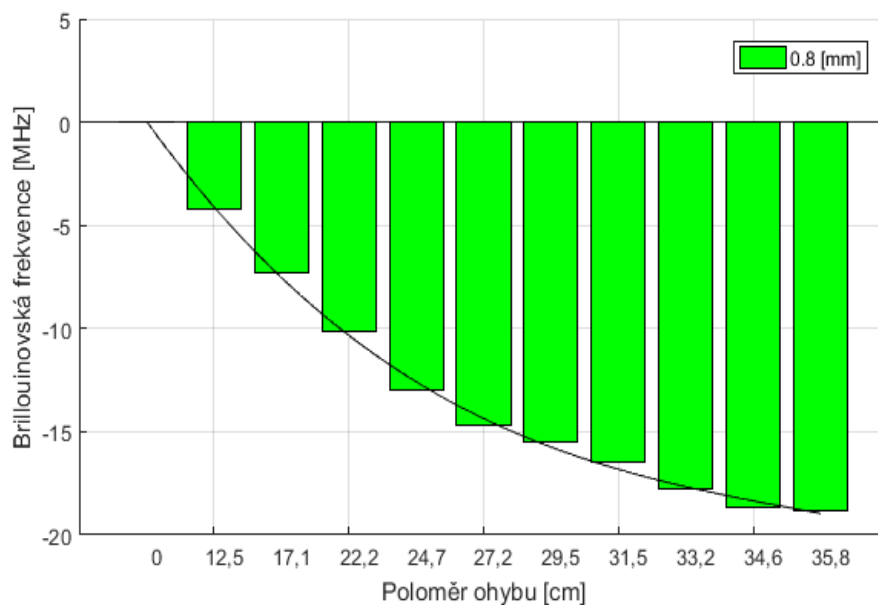
Na obrázku 5.14 je uveden graf, vykreslený z naměřených hodnot, které jsou uvedeny v tabulce 5.13. Na grafu je opět zřetelně vidět, jak nerovnoměrné podkladové vrstvy a nános lepidla při mechanickém namáhání optického vlákna G.652.D ovlivnily DSTS systémem naměřené Brillouinovské frekvence.

V případě této části měření byly u části optického vlákna, které mělo být umístěno na podkladové vrstvě o síle 0,8 mm naměřeny od počátku namáhání záporné Brillouinovské frekvence. Další záporné Brillouinovské frekvence vykazovalo také optické vlákno, které mělo být umístěno na podkladové vrstvě o síle 1,0 mm, 0,3 mm, a 1,2 mm (viz graf na obrázku 5.14).



Obrázek 5.14: Graf vykreslený z hodnot tabulky 5.13. Vlákn: G.652.D, druh lepidla: Epoxidová pryskyřice 1200, tvar krycí vrstvy: nespécifický (druhá část)

Na obrázku 5.15 je vykreslen graf z naměřených hodnot uvedených v tabulce 5.13. podkladové vrstvy o teoretické síle 0,8 mm. V tomto grafu je rovněž vykreslena regresní křivka. Na tomto grafu je zřetelné, že Brillouinová frekvence s větším namáháním klesala.



Obrázek 5.15: Graf lepidla Epoxidová pryskyřice 1200, podkladová vrstva 0,8 mm (nespecifická)

Dovolují si však usoudit, že tyto naměřené hodnoty nemají z důvodu nahodilých, Brillouinovských frekvencí a nerovnoměrného nanesení podkladových i krycích vrstev lepidla žádný význam.

Ostatní grafy, vykreslené z naměřených hodnot jednotlivých podkladových vrstev jsou uvedeny v příloze H.

Kvůli skutečnosti, že jsme nebyli schopni Epoxidovou pryskyřici 1200 nanášet v přesně definovaných vrstvách, ať už u podkladových nebo krycích a především díky naměřeným Brillouinovským frekvencím, které jsou uvedeny v tabulkách 5.13 a 5.14, jsme se rozhodli, tento druh lepidla dále při práci nevyužívat.

5.2 Optické vlákno ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG

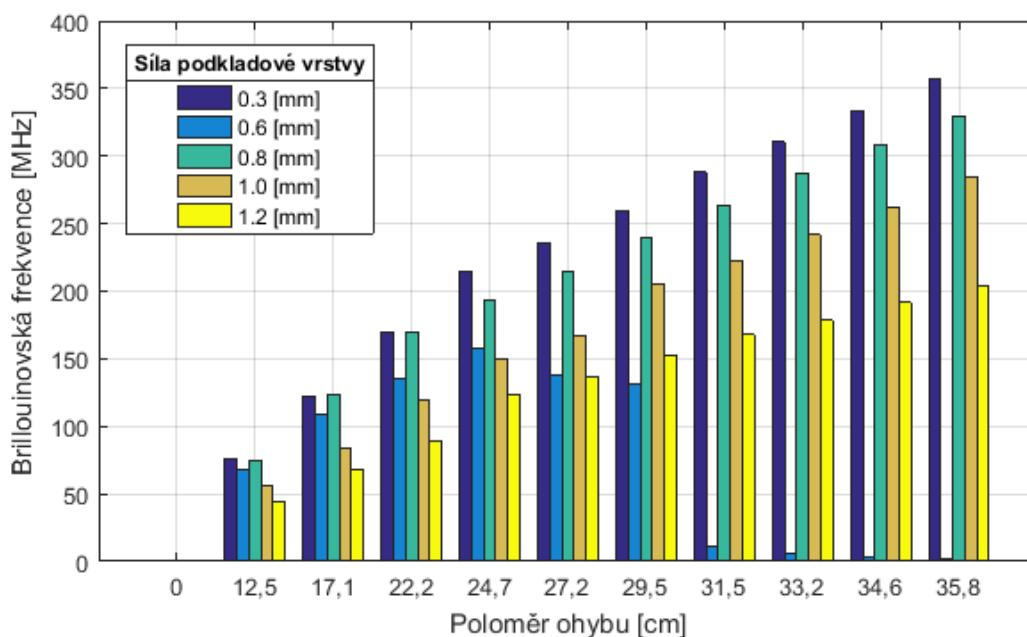
Toto optické vlákno bylo použito na celkem tři plechové, mechanicky namáhané podložky. K uchycení optického vlákna byly použity pouze lepidla Mamut Glue od firmy Den Braven a Hřebíky a šrouby v tubě od totožného výrobce.

5.2.1 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: trojúhelník

Při pohledu do tabulky 5.14 je zřetelné, že v tomto případě nebyly naměřeny žádné záporné Brillouinovské frekvence. Největší Brillouinovská frekvence zde byla naměřena u podkladové vrstvy 0,3 mm a poloměru ohybu 35,8 cm. Tato hodnota byla 356,3812 MHz. Naopak nejmenší hodnota Brillouinovské frekvence byla naměřena při poloměru ohybu 35,8 cm u podkladové vrstvy 0,6 mm, tato hodnota činila 1,7991 MHz.

Tabulka 5.14: *Optické vlákno ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG, lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: trojúhelník*

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	75,9320	68,4690	74,4424	56,1681	44,1198
17,1	122,2997	108,4976	124,0773	83,9567	67,6389
22,2	169,7960	135,8252	170,2285	119,1826	89,0045
24,7	214,8752	157,1274	192,7967	150,2929	122,9725
27,2	235,7368	137,8970	214,8223	167,2139	137,2428
29,5	259,5615	131,3200	239,7499	205,7719	152,8759
31,5	288,1327	11,6448	263,4163	222,6171	167,7675
33,2	310,4095	6,5765	287,0932	241,5924	178,6761
34,6	333,5052	2,8882	308,6386	261,8527	191,5612
35,8	356,8125	1,7991	329,0377	284,7462	203,8798



Obrázek 5.16: Graf vykreslený z hodnot tabulky 5.14. Vlákn: ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG, druh lepidla: Mamut Glue, tvar krycí vrstvy: trojúhelník

Při pohledu na graf zobrazený na obrázku 5.16 je zřetelné, že nejvyšší naměřené Brillouinovské frekvence byly u podkladové vrstvy o síle 0,3 mm. Tyto vrstvy zde kontinuálně rostly až po největší poloměr ohybu 35,8 cm. Druhou, nejvíce namáhanou částí optického vlákna byla část umístěná na podkladové vrstvě o síle 0,8 mm, kdy Brillouinovské frekvence rovněž rostly do největšího poloměru namáhání. Při menším mechanickém zatížení se rovněž výrazně projevila závislost podkladové vrstvy o síle 0,6 mm, avšak při poloměru ohybu 27,5 cm začala Brillouinovská frekvence klesat. Při poloměru ohybu 35,8 byla naměřena téměř nulová hodnota. Tato podkladová vrstva se při tomto měření ukázala jako nevhodná. Naopak nejméně namáhána je podle DSTS systému část optického vlákna umístěná na nejsilnější podkladové vrstvě 1,2 mm.

Při měření mechanického namáhání tohoto optického vlákna byla nejvhodnější podkladová vrstva o síle 0,3 mm.

Grafy vykreslené z hodnot jednotlivých vrstev a tabulka s koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti včetně regresní rovnice a hodnot věrohodnosti R^2 jsou uvedeny v příloze I.

5.2.2 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 1 mm ovál

Při pohledu do tabulky 5.15 je zřetelné, že opět nebyly naměřeny žádné záporné Brillouinovské frekvence. Největší Brillouinovská frekvence zde byla naměřena u podkladové vrstvy 0,3 mm a poloměru ohybu 31,5 cm. Tato hodnota byla 236,6858 MHz. Naopak nejmenší hodnota Brillouinovské frekvence byla naměřena při poloměru ohybu 34,6 cm u podkladové vrstvy 0,3 mm, tato hodnota činila 6,0730 MHz. Rozsah naměřené Brillouinovské frekvence tedy nebyl tak velký, jako v předchozím případě, kdy optické vlákno překrývala krycí vrstva ve tvaru trojúhelníku.

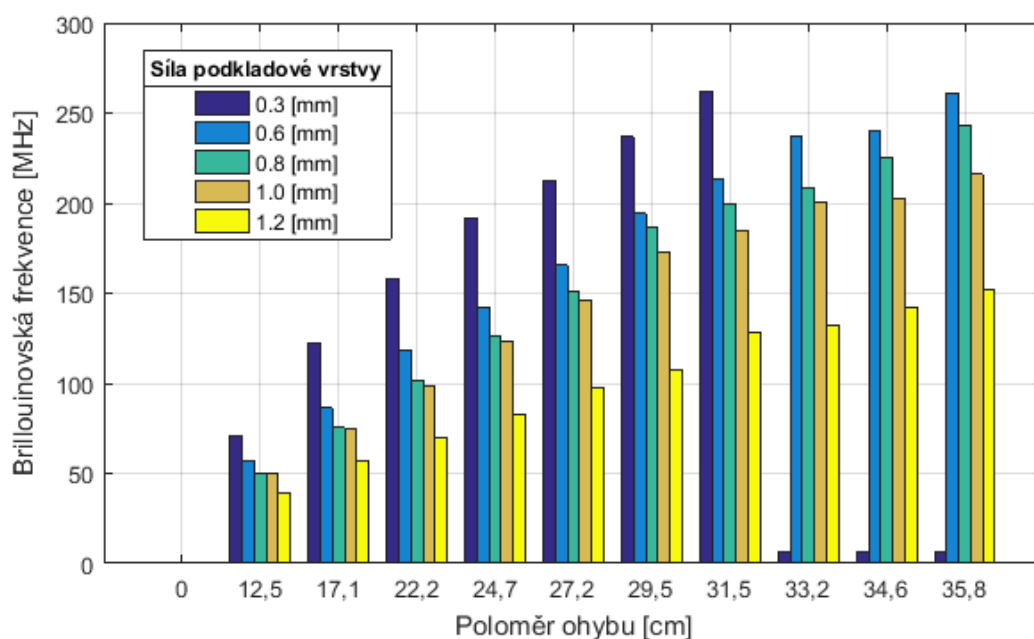
Tabulka 5.15: Optické vlákno ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG, lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 1 mm ovál

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	71,0063	56,4914	49,6311	50,4336	39,0396
17,1	122,7250	86,2026	75,4247	74,8901	56,8628
22,2	157,7730	118,8121	101,4647	98,3691	70,1752
24,7	191,5727	142,4985	126,6828	123,2023	82,4618
27,2	212,0476	165,4587	150,9237	145,5822	97,5947
29,5	236,6858	194,3331	186,1491	172,7991	107,7337
31,5	262,1226	213,5444	199,6589	184,3309	128,1366
33,2	6,5603	237,2007	208,8289	200,3684	132,5297
34,6	6,0730	240,4308	225,5406	202,3029	142,3249
35,8	6,3057	260,9091	242,8045	216,0449	151,6190

Při pohledu na graf zobrazený na obrázku 5.17 je zřetelné, že nejvyšší naměřené Brillouinovské frekvence byly u podkladové vrstvy o síle 0,3 mm. Tyto hodnoty však kontinuálně rostly pouze do poloměru ohybu 31,5 cm. Domnívám se, že po tomto poloměru ohybu lepidlo už optické vlákno neudrželo, proto jsou Brillouinovské frekvence téměř nulové. Druhou, nejvíce namáhanou částí optického vlákna bylo vlákno umístěné na podkladové vrstvě o síle 0,6 mm, kdy Brillouinovské frekvence rovněž rostly do největšího poloměru namáhání. Nejméně namáhaná je podle DSTS systému opět část optického vlákna umístěná na nejsilnější podkladové vrstvě 1,2 mm.

Při měření mechanického namáhání optického vlákna při této krycí vrstvě byla nejvhodnější podkladová vrstva o síle 0,6 mm, protože tyto hodnoty byly nejvyšší lineárně rostoucí i v největším poloměru namáhání.

Grafy vykreslené z hodnot jednotlivých vrstev a tabulka s koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti včetně regresní rovnice a hodnot věrohodnosti R^2 jsou uvedeny v příloze J.



Obrázek 5.17: Graf vykreslený z hodnot tabulky 5.15. Vlákn: ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG, druh lepidla: Mamut Glue, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál

5.2.3 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,5 mm ovál

Při tomto měření už byly naměřeny záporné Brillouinovské frekvence, a to v části optického vlákna připevněného na podkladové vrstvě o síle 1,2 mm (tabulka 5.16). Největší Brillouinovská frekvence zde byla naměřena u podkladové vrstvy 1,0 mm a poloměru ohybu 35,8 cm. Tato hodnota byla 269,4302 MHz. Naopak nejmenší hodnota Brillouinovské frekvence byla naměřena při poloměru ohybu 35,8 cm u podkladové vrstvy 1,2 mm, tato hodnota činila -11,0235 MHz.

Tabulka 5.16: Optické vlákno ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG, lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,5 mm ovál

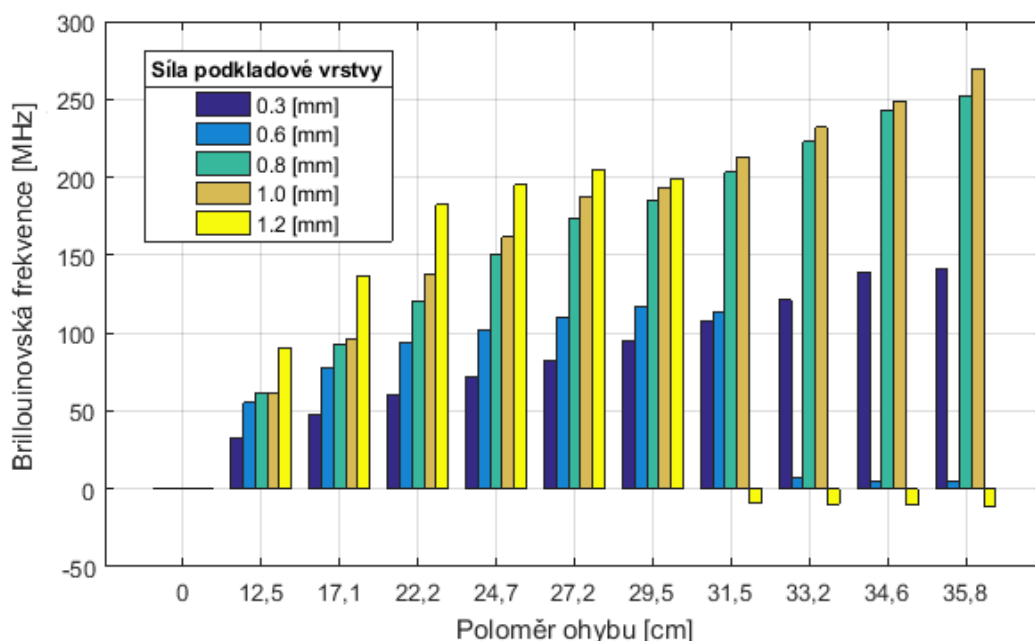
Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	32,9709	55,3107	61,8758	61,6341	90,4827
17,1	48,0475	77,2247	92,3181	96,6439	136,5180
22,2	60,6637	93,8468	120,2221	137,8994	182,4236
24,7	72,2589	102,2735	150,2852	161,4285	195,0293
27,2	82,5930	109,4449	173,4695	187,4671	204,3876
29,5	94,7037	117,2833	185,1668	193,0780	198,6468
31,5	107,6021	113,0285	203,3777	212,9793	-9,4132
33,2	121,2015	6,8795	222,6348	231,8792	-9,8631
34,6	139,1592	5,3186	242,6295	248,6949	-10,6531
35,8	141,5257	5,3177	251,9455	269,4302	-11,0235

Při pohledu na graf zobrazený na obrázku 5.18 je zřejmé, že nejvyšší naměřené Brillouinovské frekvence byly u podkladové vrstvy o síle 1,0 mm. Druhou, nejvíce namáhanou částí

optického vlákna bylo vlákno umístěné na podkladové vrstvě o síle 0,8 mm, kdy Brillouinovské frekvence rovněž rostly do největšího poloměru namáhání. U optického vlákna umístěného na podkladové vrstvě o síle 1,2 mm nastal propad Brillouinovské frekvence při poloměru ohybu 31,5 cm. Optické vlákno je pro senzorické účely od této části namáhání nepoužitelné.

Při měření mechanického namáhání optického vlákna při této krycí vrstvě byla nejvhodnější podkladová vrstva o síle 0,6 a 0,8 mm. Tyto hodnoty byly nejvyšší lineárně rostoucí s poměrně velkým Brillouinovským rozsahem i v největším poloměru namáhání.

Grafy vykreslené z hodnot jednotlivých vrstev a tabulka s koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti včetně regresní rovnice a hodnot věrohodnosti R^2 jsou uvedeny v příloze K.



Obrázek 5.18: Graf vykreslený z hodnot tabulky 5.14. Vlákno: ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG, druh lepidla: Mamut Glue, tvar krycí vrstvy: 0,5 mm ovál

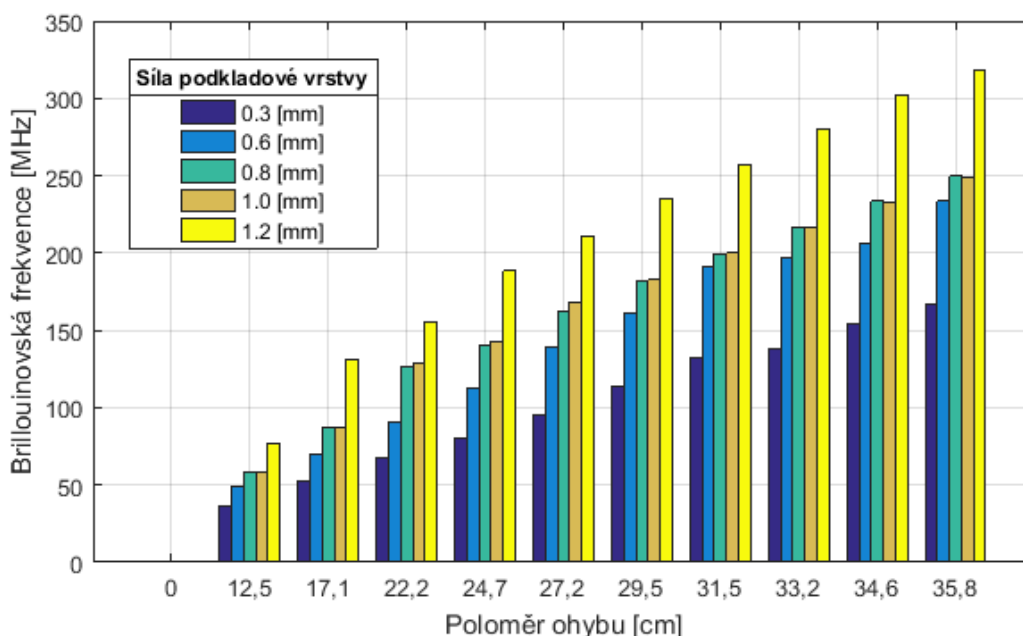
5.2.4 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,2 mm ovál

V tabulce 5.17 jsou uvedeny hodnoty z měření pro krycí vrstvu optického vlákna o síle krycí vrstvy 0,2 mm, tvaru oválu. V této části DSTS systém nenaměřil žádné záporné Brillouinovské frekvence. Nejvyšší Brillouinovská frekvence byla naměřena u optického vlákna umístěného na podkladové vrstvě o síle 1,2 mm a poloměru ohybu 35,8 cm, nejmenší pak u poloměru ohybu 12,5 cm a podkladové vrstvě 0,3 mm.

Tabulka 5.17: Optické vlákno ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG, lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,2 mm ovál

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	36,5062	49,1805	57,8671	58,8031	77,1818
17,1	53,1325	70,4155	87,6651	87,1701	131,2161
22,2	67,5864	90,6596	126,6499	128,4375	155,4084
24,7	80,0691	112,5751	140,2216	142,6506	188,4537
27,2	95,3479	138,6786	162,5013	168,5944	211,2784
29,5	113,8692	161,1209	181,6030	182,7130	234,7527
31,5	132,4239	190,9590	199,7943	199,9388	256,7973
33,2	138,2160	196,6095	217,0277	216,8355	280,4422
34,6	153,7228	206,3556	233,4137	232,3899	302,5770
35,8	166,7190	233,7131	249,5923	248,5662	318,3785

Na obrázku 5.19 je uveden graf, vykreslený z naměřených hodnot mechanického namáhání, které jsou v tabulce 5.17. Na grafu je vidět, že podkladová vrstva 1,2 mm měla na mechanicky namáhané optické vlákno největší vliv, co se týče citlivosti Brillouinovské frekvence. Z grafu je také možné vypočítat, že nejmenší naměřené rozdíly Brillouinovských frekvencí byly u mechanicky namáhaného optického vlákna umístěného na podkladové vrstvě o síle 0,8 mm a 1,0 mm. Celkově nejmenší naměřené Brillouinovské frekvence byly u optického vlákna umístěného na podkladové vrstvě o síle 0,3 mm.



Obrázek 5.19: Graf vykreslený z hodnot tabulky 5.17. Vlákno: ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG, druh lepidla: Mamut Glue, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál

Grafy vykreslené z hodnot jednotlivých vrstev a tabulka s koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti včetně regresní rovnice a hodnot věrohodnosti R^2 jsou uvedeny v příloze L.

5.2.5 Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: trojúhelník

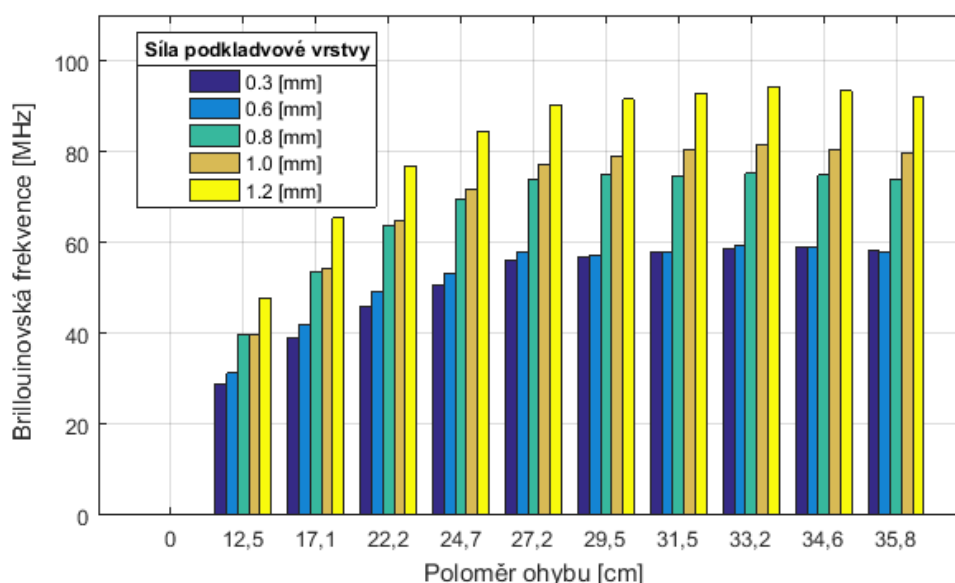
Při pohledu do tabulky 5.18 je zřetelné, že v tomto případě nebyly naměřeny žádné záporné Brillouinovské frekvence. Největší Brillouinovská frekvence byla naměřena u podkladové vrstvy 1,2 mm a poloměru ohybu 33,2 cm. Tato hodnota byla 94,2936 MHz. Naopak nejmenší hodnota Brillouinovské frekvence byla naměřena při poloměru ohybu 12,5 cm u podkladové vrstvy 0,3 mm, tato hodnota činila 28,8806 MHz.

Tabulka 5.18: *Optické vlákno ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG, lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: trojúhelník*

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	28,8806	31,2829	39,6571	39,5908	47,9159
17,1	39,0696	41,9097	53,5541	54,3704	65,3729
22,2	45,9695	49,3021	63,6940	64,7507	76,8471
24,7	50,7398	53,3562	69,6354	71,7473	84,4188
27,2	56,2081	57,9104	73,7314	77,1823	90,0931
29,5	56,9191	57,3211	75,0251	78,8879	91,4874
31,5	57,7269	57,9653	74,6737	80,4248	92,9036
33,2	58,6596	59,2361	75,2363	81,6708	94,2936
34,6	59,1702	58,9486	74,8081	80,2822	93,3294
35,8	58,2538	57,9491	73,7906	79,6638	92,1245

Z naměřených hodnot, které jsou uvedeny v tabulce 5.18 je vykreslen graf (obrázek 5.20). Z toho je možné usoudit, že pro toto měření vykazovalo podle Brillouinovské frekvence nejvýraznější hodnoty namáhání optické vlákno připevněné na podkladové vrstvě o síle 1,2 mm. Druhou, nejvíce namáhanou částí optického vlákna byla část umístěná na podkladové vrstvě o síle 1,0 mm. Pokud budeme porovnávat naměřený rozsah Brillouinovských frekvencí s předchozím lepidlem (Mamut Glue 0 - 350 MHz), tak v případě tohoto typu lepidla je měřený rozsah více než třikrát menší (Hřebíky a šrouby v tubě 0 - 100 MHz).

Grafy vykreslené z hodnot jednotlivých vrstev a tabulka s koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti včetně regresní rovnice a hodnot věrohodnosti R^2 jsou uvedeny v příloze M.



Obrázek 5.20: Graf vykreslený z hodnot tabulky 5.18. Vlákn: ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG, druh lepidla: Hřebíky a šrouby v tubě, tvar krycí vrstvy: trojúhelník

5.2.6 Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: 1 mm ovál

V tabulce 5.19 jsou uvedeny naměřené hodnoty mechanicky namáhaného optického vlákna, které bylo k plechové, mechanicky namáhané podložce připevněno krycí vrstvou lepidla Hřebíky a šrouby v tubě ve tvaru krycí vrstvy 1 mm ovál, což je v případě tohoto druhu lepidla nejmenší krycí vrstva. Menší krycí vrstvy jsme z technologických důvodů nebyli schopni nanést.

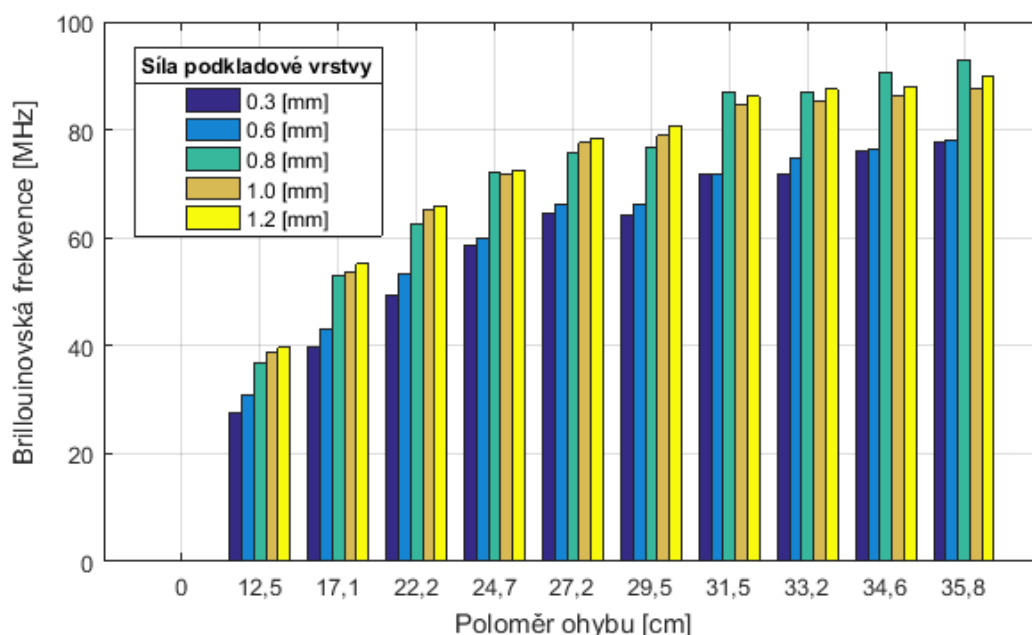
Nejmenší naměřená Brillouinová frekvence byla u poloměru deformace 12,5 cm v části optického vlákna umístěném na podkladové vrstvě o síle 0,3 mm (27,5812 MHz). Nejvyšší Brillouinová frekvence byla naměřena na podkladové vrstvě o síle 0,8 mm při poloměru deformace 35,8 cm (93,0023 MHz).

Tabulka 5.19: Optické vlákno ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG, lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: 1 mm ovál

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinová frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	27,5812	31,0197	36,9387	38,6148	39,6748
17,1	39,8908	42,9950	52,9499	53,5874	55,1639
22,2	49,2668	53,4072	62,4504	65,2294	65,8526
24,7	58,5828	59,8350	72,2437	71,7883	72,5074
27,2	64,6725	66,1979	75,6369	77,5800	78,4192
29,5	64,2142	66,2332	76,5953	78,9475	80,8334
31,5	71,9171	71,6743	87,1296	84,5652	86,1673
33,2	71,9466	74,7733	87,0218	85,3586	87,5563
34,6	75,9435	76,2610	90,6267	86,1706	88,0538
35,8	77,6067	78,0377	93,0023	87,7352	89,9517

Na obrázku 5.21 je uveden graf vykreslený z naměřených hodnot (tabulka 5.19). Na tomto grafu je zřetelné, že v případě krycí vrstvy 1,0 mm ve tvaru oválu byly naměřeny nejvyšší Brillouinovské frekvence na části optického vlákna připevněného na podkladové vrstvě o síle 0,8 mm. Na grafu je také možné vypořadovat, že při mechanickém namáhání byly naměřené Brillouinovské frekvence namáhaného optického vlákna velmi podobné u vrstev 0,8 mm, 1,0 mm a 1,2 mm. A to u všech „stupňů namáhání“.

Grafy vykreslené z hodnot jednotlivých vrstev a tabulka s koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti včetně regresní rovnice a hodnot věrohodnosti R^2 jsou uvedeny v příloze N.



Obrázek 5.21: Graf vykreslený z hodnot tabulky 5.19. Vlákno: ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG, druh lepidla: Hřebíky a šrouby v tubě, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál

5.3 Optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB

Veškeré naměřené hodnoty a grafy vykreslené z měření mechanického namáhání tohoto typu optického vlákna jsou uvedeny v přílohách (přílohy: O-T). Tímto optickým vláknem byly realizovány celkem 3 kusy plechových podložek.

5.3.1 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: trojúhelník

Jelikož v tomto případě nebyly naměřeny žádné nestandardní Brillouinovské frekvence, tak jsou tabulky a grafy tohoto měření uvedeny v příloze O.

5.3.2 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 1,0 mm ovál

Jelikož v tomto případě nebyly naměřeny žádné nestandardní Brillouinovské frekvence, tak jsou tabulky a grafy tohoto měření uvedeny v příloze P.

5.3.3 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,5 mm ovál

Jelikož v tomto případě nebyly naměřeny žádné nestandardní Brillouinovské frekvence, tak jsou tabulky a grafy tohoto měření uvedeny v příloze Q.

5.3.4 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,2 mm ovál

Jelikož v tomto případě nebyly naměřeny žádné nestandardní Brillouinovské frekvence, tak jsou tabulky a grafy tohoto měření uvedeny v příloze R.

5.3.5 Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: trojúhelník

Jelikož v tomto případě nebyly naměřeny žádné nestandardní Brillouinovské frekvence, tak jsou tabulky a grafy tohoto měření uvedeny v příloze S.

5.3.6 Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: 1 mm ovál

Jelikož v tomto případě nebyly naměřeny žádné nestandardní Brillouinovské frekvence, tak jsou tabulky a grafy tohoto měření uvedeny v příloze T.

5.4 Optické vlákno s ID cívky 516220

Veškeré naměřené hodnoty a grafy vykreslené z měření mechanického namáhání tohoto typu optického vlákna jsou uvedeny v přílohách (přílohy: U-Z). Tímto optickým vláknem byly realizovány celkem 3 kusy plechových podložek.

5.4.1 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: trojúhelník

Jelikož v tomto případě nebyly naměřeny žádné nestandardní Brillouinovské frekvence, tak jsou tabulky a grafy tohoto měření uvedeny v příloze U.

5.4.2 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 1 mm ovál

Jelikož v tomto případě nebyly naměřeny žádné nestandardní Brillouinovské frekvence, tak jsou tabulky a grafy tohoto měření uvedeny v příloze V.

5.4.3 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,5 mm ovál

Jelikož v tomto případě nebyly naměřeny žádné nestandardní Brillouinovské frekvence, tak jsou tabulky a grafy tohoto měření uvedeny v příloze W.

5.4.4 Lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,2 mm ovál

Jelikož v tomto případě nebyly naměřeny žádné nestandardní Brillouinovské frekvence, tak jsou tabulky a grafy tohoto měření uvedeny v příloze X.

5.4.5 Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: trojúhelník

Jelikož v tomto případě nebyly naměřeny žádné nestandardní Brillouinovské frekvence, tak jsou tabulky a grafy tohoto měření uvedeny v příloze Y.

5.4.6 **Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: 1 mm ovál**

Jelikož v tomto případě nebyly naměřeny žádné nestandardní Brillouinovské frekvence, tak jsou tabulky a grafy tohoto měření uvedeny v příloze Z.

Závěr

V této diplomové práci bylo hlavním úkolem změřit Brillouinovské frekvence různých typů optických vláken při proměnném mechanickém zatížení. Brillouinovské frekvence byly měřeny pomocí DSTS systému DITEST STAR-RTM, což je optovláknový distribuovaný systém, který dokáže měřit jak teplotu, tak deformaci (mechanické zatížení) podél optického vlákna.

Mechanické namáhání bylo realizováno na přípravku, který již byl v laboratoři k dispozici. Na tento přípravek bylo nutné připevnit plechovou podložku, která bude po uchycení optického vlákna mechanicky namáhána. Na ni bylo následně uchyceno optické vlákno. Jako fixační materiál optického vlákna k plechové podložce byly použity tři druhy lepidel (Mamut Glue od firmy Den Braven, Hřebíky a šrouby v tubě od téhož výrobce a Epoxidová pryskyřice 1200 od firmy Kittfort). Každé z těchto lepidel bylo na podložku aplikováno ve dvou fázích. V první fázi byla aplikována podkladová vrstva. Na tuto vrstvu bylo po jejím vytvrzení připevněno optické vlákno. Následně byla provedena druhá fáze - aplikace krycí vrstvy lepidla. Pro přesnou aplikaci výše uvedených lepidel bylo navrženo a vyrobeno několik stěrek. Stěrka podkladové vrstvy lepidla (obrázek 4.9, strana 34) a dvě stěrky o odlišných tvarech krycí vrstvy (obrázek 4.10, strana 35). Tím byly zaručeny přesně dané rozměry podkladových a krycích vrstev lepidla, které sloužily k fixaci optického vlákna k mechanicky namáhané podložce.

Celkem bylo v této práci realizováno 13 kusů mechanicky namáhaných plechových podložek, na které byly pomocí výše uvedených způsobů fixovány čtyři druhy optických vláken.

Výsledky byly zpracovány do 26 tabulek. Z těchto naměřených Brillouinovských frekvencí jsou pro lepší čitelnost vykresleny grafy, zobrazující změny Brillouinovské frekvence v jednotkách MHz oproti nezatíženému stavu.

Mezi různými druhy fixačních materiálů byly naměřeny podstatné rozdíly Brillouinovských frekvencí. Pokud bylo použito k podkladové vrstvě a následné fixaci optického vlákna lepidlo Mamut Glue, od firmy Den Braven, tak největší rozsah změn Brillouinovských frekvencí byl v rozmezí 0 – 406,2738 MHz. Kdežto pokud bylo použito k podkladové a krycí vrstvě lepidlo Hřebíky a šrouby v tubě, od téhož výrobce, pak byl rozsah změn Brillouinovských frekvencí „pouze“ 0 – 113,0309 MHz.

Další lepidlo použité k fixaci optického vlákna bylo Epoxidová pryskyřice 1200. Rozsah naměřených Brillouinovských frekvencí byl v případě tohoto typu lepidla 0 – 297,4496 MHz. Ale toto lepidlo bylo z experimentu vyřazeno, protože jsme z technologických důvodů nebyli schopni zachovat předem dané podkladové a krycí vrstvy. Na grafech zobrazených na obrázcích 5.12 (strana 60) a 5.14 (strana 62) jsou vykresleny grafy z mechanického namáhání optického vlákna, fixovaného tímto lepidlem.

Pokud je tedy optické vlákno fixováno lepidlem Mamut Glue, rozsah změn Brillouinovských frekvencí je při proměnném mechanickém namáhání optického vlákna 4x větší oproti lepidlu Hřebíky a šrouby v tubě. Rozsah změn Brillouinovských frekvencí je v tomto případě přímo úměrný citlivosti. Je možné konstatovat, že čím je větší rozsah změn Brillouinovských frekvencí, tím je větší i citlivost (přesnost) naměřeného mechanického namáhání. Lepidlo Mamut Glue bylo pro účely proměnného mechanického namáhání v této práci vyhodnoceno jako nejlepší.

Při práci bylo dále zjištěno, že síla i tvar podkladové vrstvy mají při měření mechanického namáhání optického vlákna významný vliv na naměřené Brillouinovské frekvence. Tento fakt je nejlépe vidět na obrázku 5.6 (strana 51). Graf je vykreslen z naměřených hodnot optického vlákna, které bylo k mechanicky namáhané plechové podložce fixováno krycí vrstvou ve tvaru oválu. Kdy vrstva lepidla nad vláknem byla pouze 0,2 mm. Na grafu je zřetelné, že krycí vrstva o tomto tvaru a síle je pro měření mechanického namáhání optického vlákna u vyšších podkladových vrstev, které by případně chránily vlákno před poškozením nedostačující. Protože při poloměru ohybu 24,7 cm přestalo jako senzor fungovat optické vlákno umístěné na nejsilnější podkladové vrstvě (1,2 mm). S rostoucím mechanickým namáháním (poloměrem ohybu) přestaly jako senzor fungovat i další části optického vlákna umístěné na méně silných podkladových vrstvách. Tento fakt byl pravděpodobně způsoben tím, že krycí vrstva 0,2 mm lepidla je nedostačující a optické vlákno při vyšším mechanickém namáhání tato vrstva dostatečně nezafixuje.

Podle provedených měření této práce byl jako nejlepší tvar krycí vrstvy lepidla „trojúhelník“ a „1 mm ovál“. To lze nejlépe vidět na obrázku 5.1 (strana 44), na kterém je uveden graf vykreslen z naměřených hodnot tabulky 5.1 (strana 43). Na grafu je zřetelné, že s rostoucím mechanickým namáháním (poloměrem ohybu) kontinuálně rostly i naměřené Brillouinovské frekvence všech podkladových vrstev. Prakticky totožný kontinuální růst všech Brillouinovských frekvencí byl naměřen také u tvaru krycí vrstvy „ovál“, kdy bylo nad optickým vláknem 1 mm lepidla (tento graf je uveden v příloze B, obrázek B.1). Z těchto výsledků lze usoudit, že krycí vrstva lepidla, ve tvaru trojúhelníku a 1 mm oválu je pro mechanické namáhání nejvhodnější

Z této práce je patrné, že na rozsah změn naměřených Brillouinovských frekvencí má velký vliv druh použitého lepidla. A jelikož je v tomto případě rozsah změn Brillouinovských frekvencí úměrný citlivosti měřeného mechanického namáhání, pak se domnívám, že předmětem dalšího zkoumání této problematiky by mohlo být použití jiných fixačních materiálů. Osobně vidím velký potenciál v epoxidovém lepidle, které se bohužel v této práci nepodařilo aplikovat v předem určených vrstvách. Pokud by byl zpracován technologický postup pro přesné nanesení tohoto typu lepidla, tak se domnívám, že by byl rozsah/citlivost naměřených Brillouinovských frekvencí větší.

V praxi jsou již zavedeny speciální optické kabely sloužící k měření mechanického namáhání. Ty jsou však oproti klasickým telekomunikačním vláknům několikanásobně dražší. Tato práce dokazuje, že je možné, jako vláknově optický senzor použít i klasické telekomunikační vlákno. Toto vlákno je však nutné správně fixovat k materiálu, který bude mechanicky namáhán.

Jsem přesvědčen, že vzhledem k tomu, že využití vláknově optických senzorů má v budoucnu velkou perspektivu a tato práce je důkazem toho, že způsoby fixování se stávají kritickým parametrem ovlivňující funkčnost a parametry senzorů. Z těchto důvodů považuji za důležité se této problematice dále věnovat.

Použitá literatura

- [1] JAKUBEC, Stanislav. Modelovanie prechodu svetla prostredím v objemovej reprezentácii pomocou GPU [online]. 2013. [vid. 2014-03-10] Dostupné z: http://ics.upjs.sk/~krajci/skola/ine/SVK/pdf_/Jakubec.pdf
- [2] DADO, Milan, I. TUREK, J. ŠTELINA, L. BITTERER, S. TUREK, E. GROLMUS a P. STIBOR. Kapitoly z optiky: pre technikov. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 1998, 348 s. ISBN 80-7100-390-5.
- [3] HULST van de, Hendrik Christoffel. Light scattering by small particles. New York: Dover, 1981, 470 s. ISBN 0-486-64228-3
- [4] KLOUDA, Pavel. Moderní analytické metody. Ostrava: nakladatelství Pavel Klouda, 2003, 130 s. ISBN 80-86-36-9-07-2
- [5] LONG, Derek A. The Raman Effect: A Unifield Treatment of the Theory od Raman Scattering by Molecules. 1. vyd. England: John Willey & Sons, 2002, 598 s. ISBN 978-0-471-49028-9.
- [6] KUCHARSKI, Maciej a Pavel DUBSKÝ. Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras. Praha: MIKROKOM, 1998, 141 s. ISBN 8023828444.
- [7] MARŠÁLEK, Leoš. Optická vlákna [online]. 2006. [vid. 2014-02-23] Dostupné z: <http://www.goro.czweb.org/download/interest/vlakna.pdf>
- [8] MAŇÁK, Roman. Rayleighův a Mieův rozptyl I. Inflow: Parhelium [online]. 2007, č. 3. [vid. 2014-02-28]. Dostupné z: <http://ukazy.astro.cz/gal/Parhelium200703.pdf>
- [9] ŠIŠKA, Petr a František HANÁČEK. Nekomunikační Aplikace Optických Vláken [online]. [vid.2014-02-12]. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/122955997/Nekomunika%C4%8Dni-aplikace-optick%C3%BDch-vlaken>
- [10] A. Boh Ruffin: Stimulated Brillouin Scattering: An overview of measurements, Systems Impairments, and Amplications. NISTF - SOFM 2004, 1 - 6
- [11] OMNISSENS SA. User Manual DITEST STA-RTM. [s.l.]: Omnisens SA, ©2013.
- [12] TURÁN, Ján: Opticke komunikačne systémy. ELFA Košice, 1999. ISBN 80 - 88964
- [13] SINGH, Sunil Pratap, R. GANGWAR a N. SINGH. Nonlinear scattering effects in optical fibers. Inflow: Progress In Electromagnetics Research [online]. 2007, roč. 74, 379-405 s. [vid. 2014-04-01]. ISSN 1559-8985. Dostupné z: <http://www.jpier.org/PIER/pier.php?paper=07051102>
- [14] AGRAWAL, P., G. Nonlinear Fiber Optics. 3.vydání. 2001. 467 s. ISBN 0-12-045143-3.
- [15] TRÄGER, F. Nonlinear Optics. V Springer Handbook of Lasers and Optics. 1. vydanie. Mnichov 2007. 1332 s. ISBN: 0-387-95579-8.

- [16] STÍSKAL, R. Vplyv disperzie v optických vláčkách G.652-655 na prenášaný signál pri prenosových rýchlostiach vyšších ako 2,5 Gbit/s. Diplomová práca. Ľilinská Univerzita v Ľiline FEI. Ľilina 2006. Vedúci práce Branislav Lihosit.
- [17] AGRAWAL, Govind P. Nonlinear fiber optics. San Diego: Academic Press, 1989, 335 s. ISBN 0-12-045140-09.
- [18] THE UNIVERSITY OF TEXAS AT DALLAS. STIMULATED RAMAN SCATTERING [online]. 2000 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.utdallas.edu/~cantrell/ee6328/srs.pdf>
- [19] KOUDELKA, Petr, J. Látal, J. Vitasek, J. Hurta, P. Šiška, A. Liner a M. Papes. Implementation of optical meanders of the optical-fiber DTS systém based on Raman stimulated scattering into the building process. Inflow: Optics and Optoelectronics [online]. 2012, roč. 10, č. 3, 187-194 s. [vid. 2014-04-9]. ISSN 1804-3119. Dostupné z: <http://advances.utc.sk/index.php/AEEE/article/view/643>

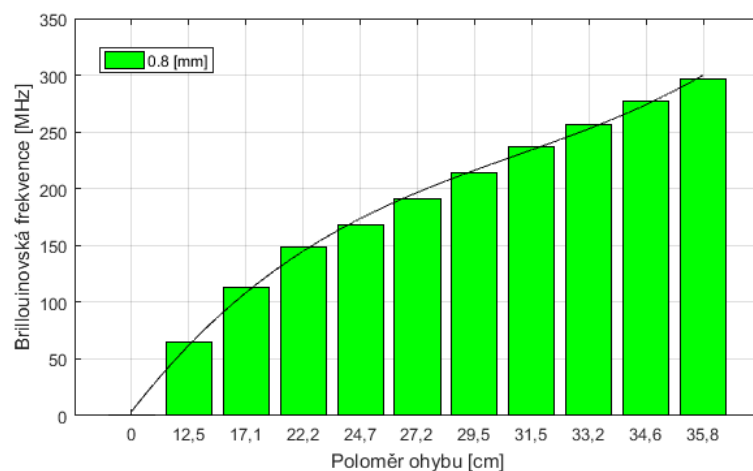
Seznam příloh

Příloha A: Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: trojúhelník.....	I
Příloha B: Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1mm ovál	II
Příloha C: Grafy a tabulky naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,5 mm ovál.....	IV
Příloha D: Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva:0,2 mm ovál	V
Příloha E: Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce Den Braven, krycí vrstva: trojúhelník	VII
Příloha F: Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1 mm ovál	IX
Příloha G: Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Epoxidová pryskyřice 1200, výrobce Kittfort, krycí vrstva: nespecifická	XI
Příloha H: Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Epoxidová pryskyřice 1200, výrobce Kittfort, krycí vrstva: nespecifická (druhá část).....	XIII
Příloha I: Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: trojúhelník	XV
Příloha J: Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1 mm ovál	XVIII
Příloha K: Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,5 mm ovál	XXI
Příloha L: Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,2 mm ovál	XXIV
Příloha M: Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce Den Braven, krycí vrstva: trojúhelník.....	XXVII
Příloha N: Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1 mm ovál	XXX
Příloha O: Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník	XXXIII
Příloha P: Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál	XXXVII

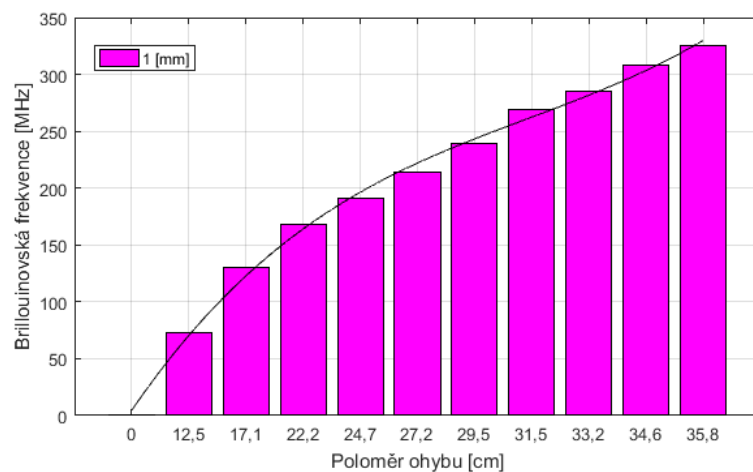
Příloha Q: Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,5 mm ovál	XLI
Příloha R: Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál	XLV
Příloha S: Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník	XLIX
Příloha T: Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál	LIII
Příloha U: Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník	LVII
Příloha V: Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál	LXI
Příloha W: Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,5 mm ovál	LXV
Příloha X: Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál	LXIX
Příloha Y: Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník	LXXIII
Příloha Z: Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál	LXXVII

Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: trojúhelník

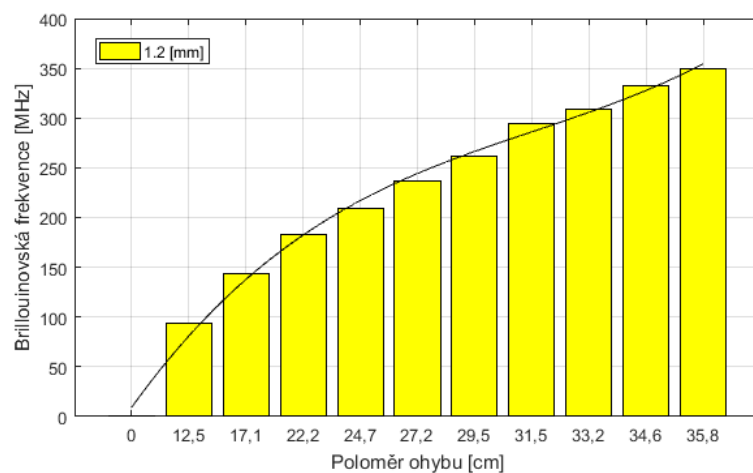
Příloha A: Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: trojúhelník



Obr. A.1: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm



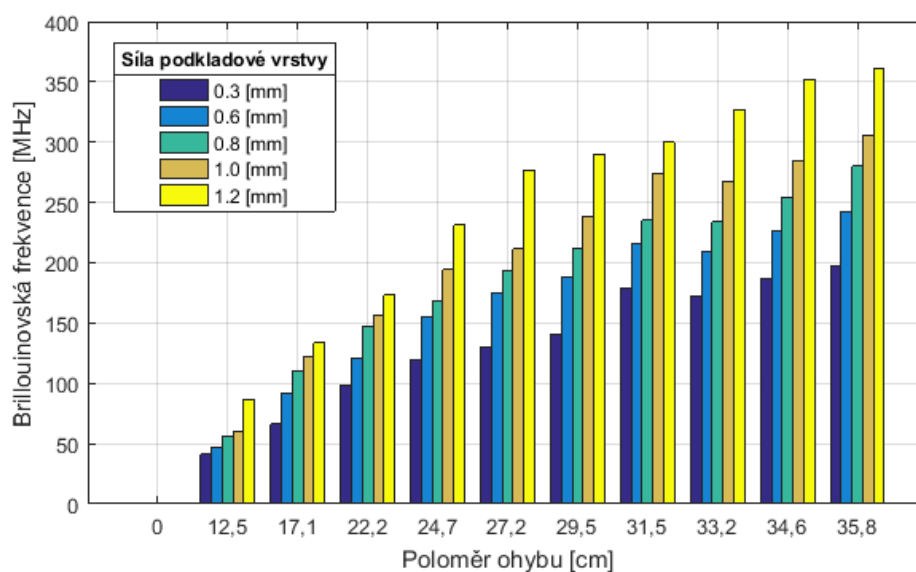
Obr. A.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



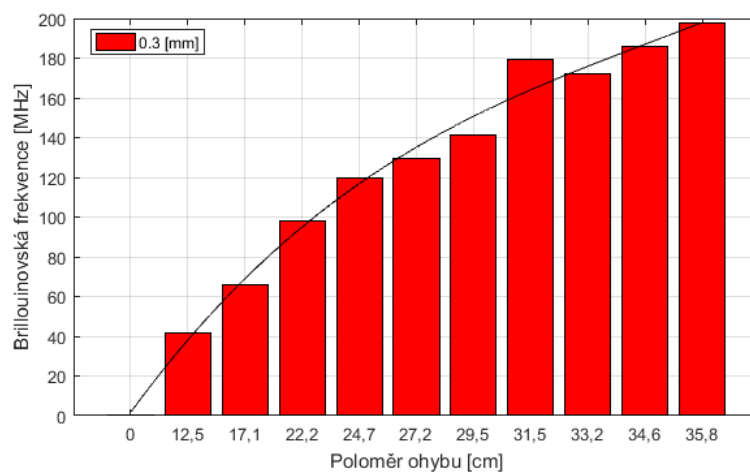
Obr. A.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1mm ovál

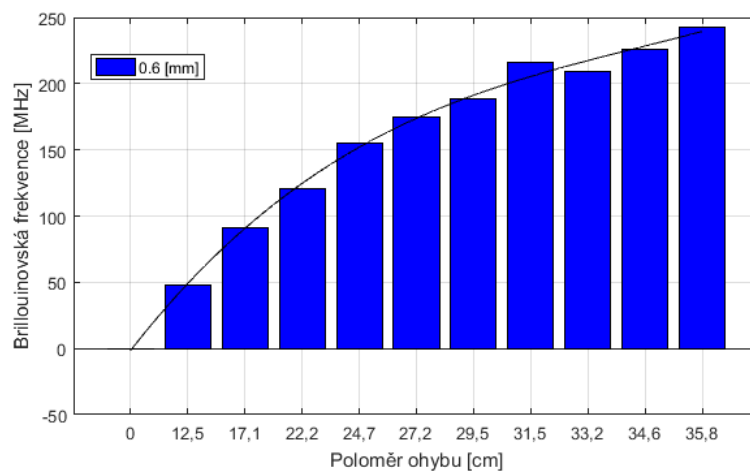
Příloha B: Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1mm ovál



Obr. B.1: Graf pro všechny podkladové vrstvy optického vlákna

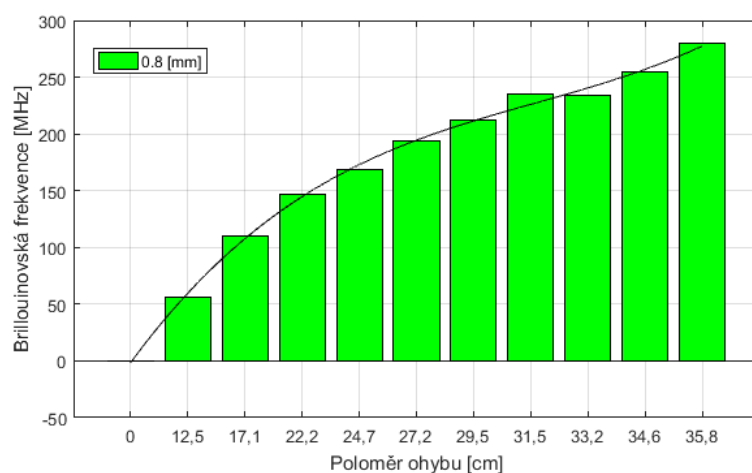


Obr. B.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

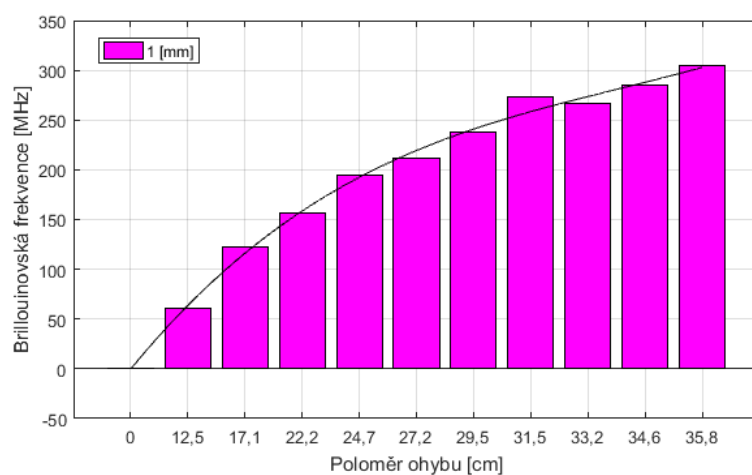


Obr. B.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

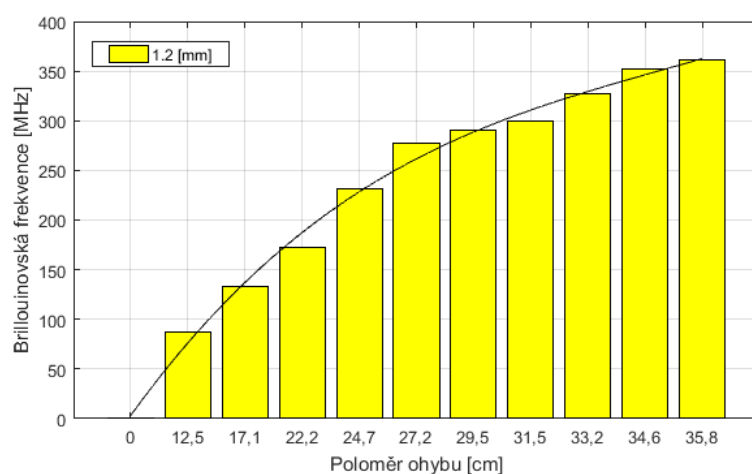
Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1mm ovál



Obr. B.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm



Obr. B.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



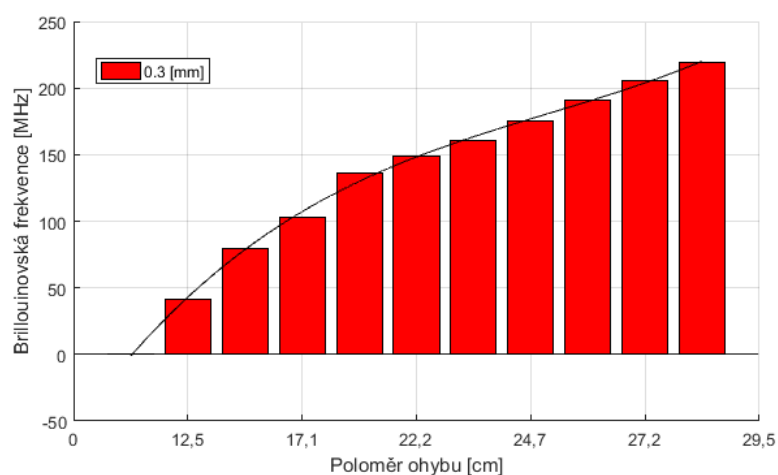
Obr. B.6: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Grafy a tabulky naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,5 mm ovál

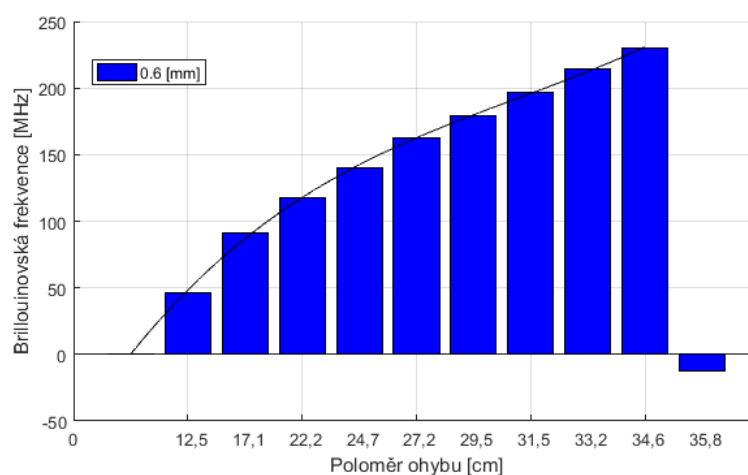
Příloha C: Grafy a tabulky naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,5 mm ovál

Tab. C.1: Tabulka koeficientů v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientů věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 0,5 mm ovál

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3	-0,0017	0,1831	1,7441	-0,6614	0,9921
0,6	-0,0012	0,1626	2,4176	0,5519	0,9973
0,8	0,0011	0,0403	7,5943	0,1531	0,9987
1,0	0,0018	0,0038	6,3399	0,3939	0,9987
1,2	0,0004	0,0803	6,5136	0,3076	0,9992

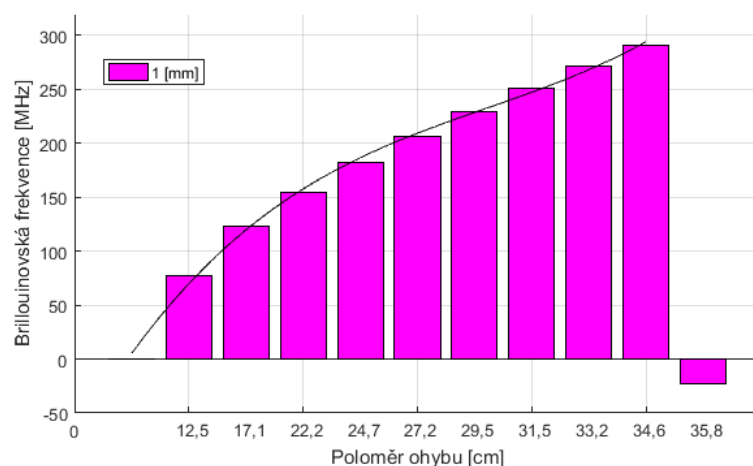


Obr. C1: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

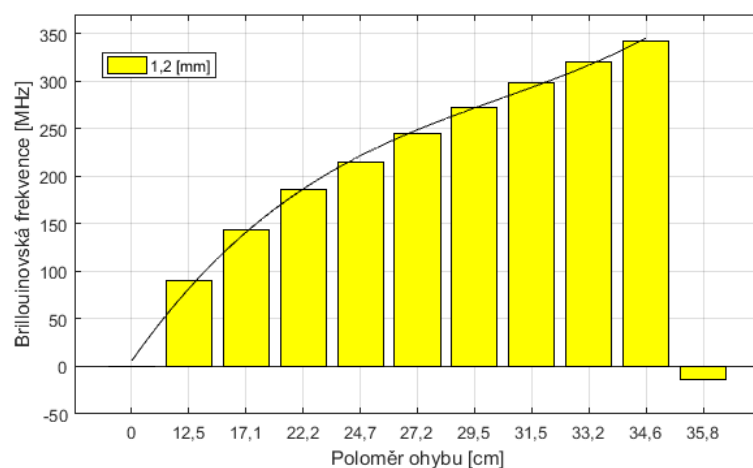


Obr. C2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,2 mm ovál

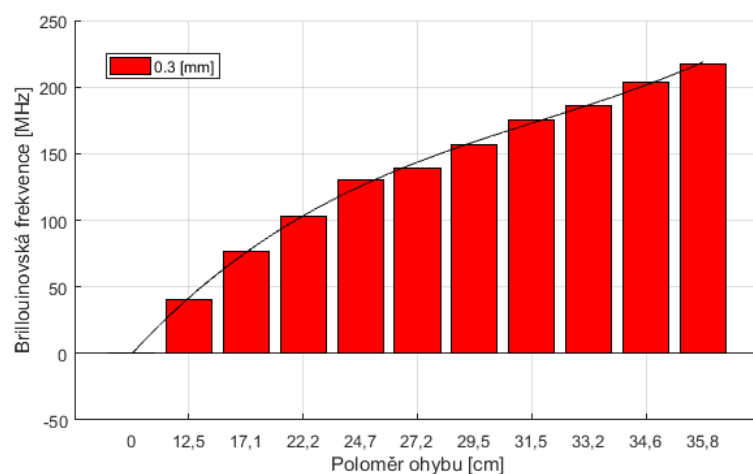


Obr. C3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0mm



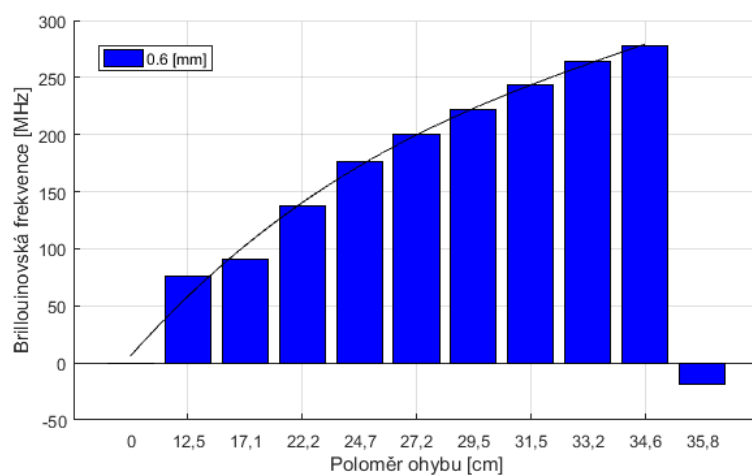
Obr. C4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Příloha D: Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,2 mm ovál

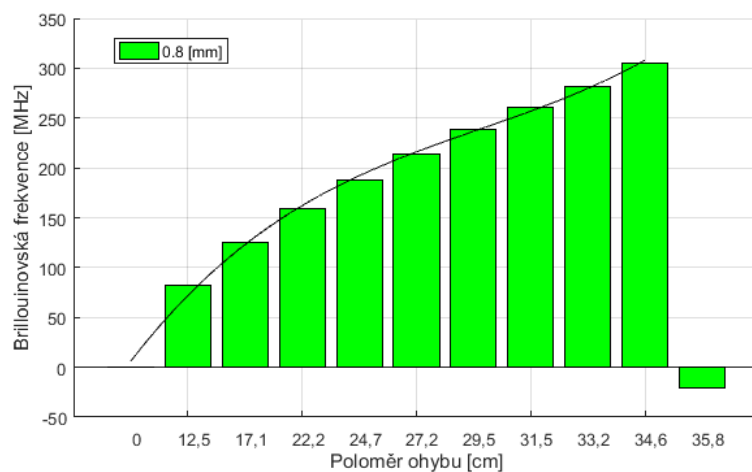


Obr. D.1: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

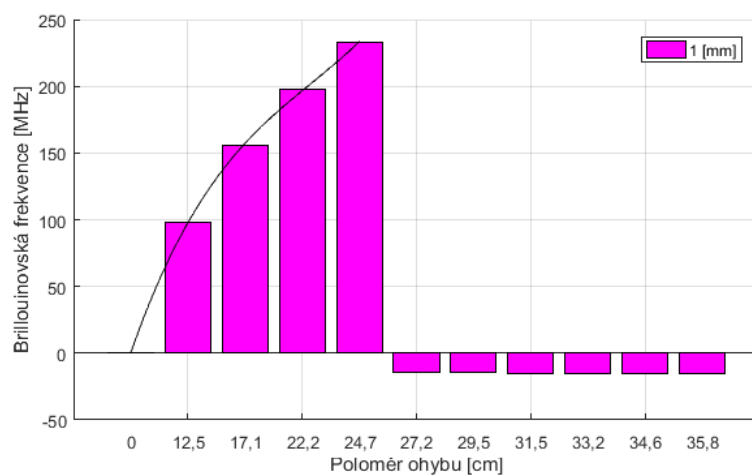
Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,2 mm ovál



Obr. D.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm



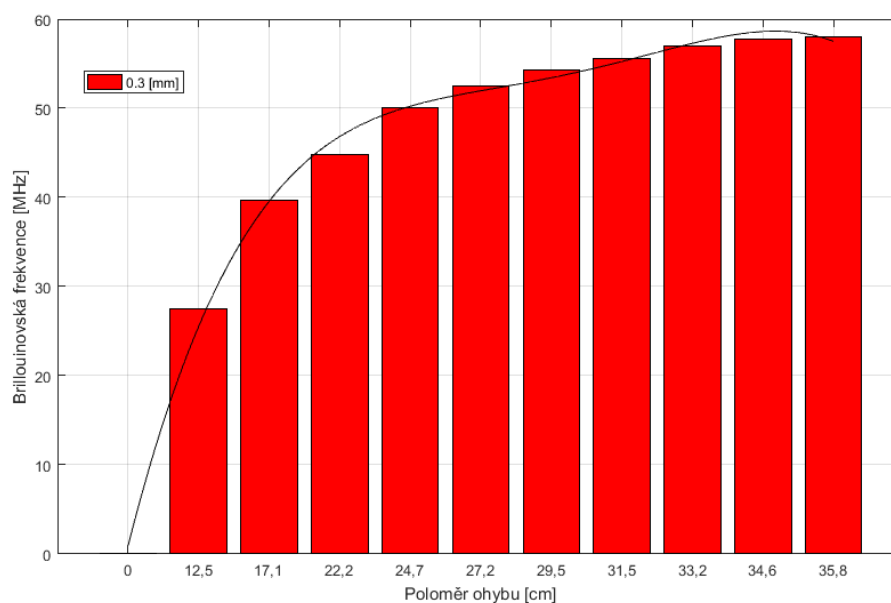
Obr. D.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm



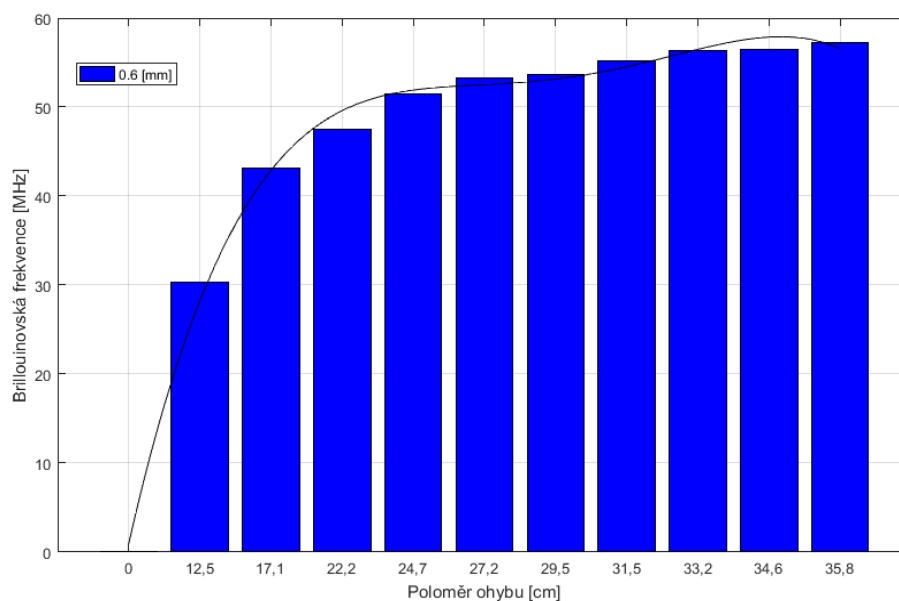
Obr. D.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm

Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce Den Braven, krycí vrstva: trojúhelník

Příloha E: Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce Den Braven, krycí vrstva: trojúhelník

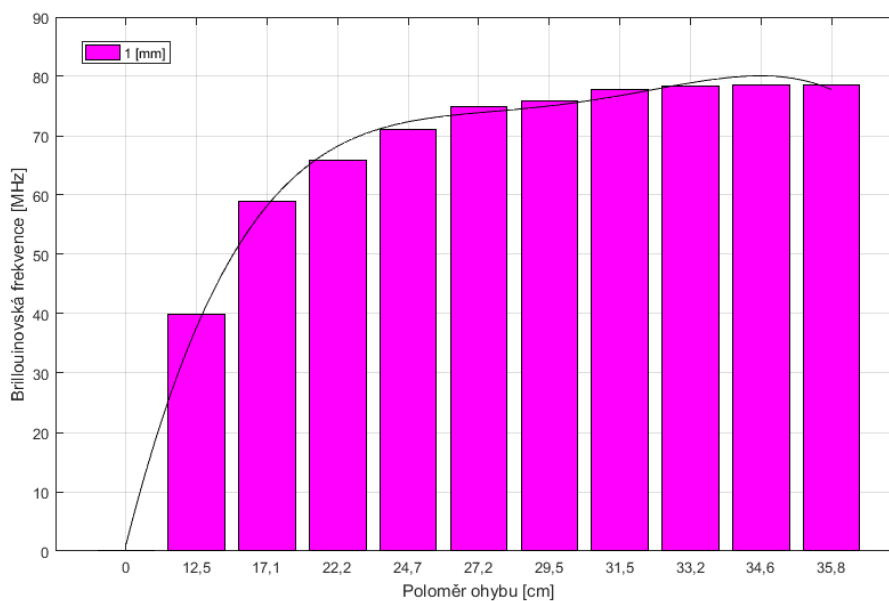


Obr. E.1: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

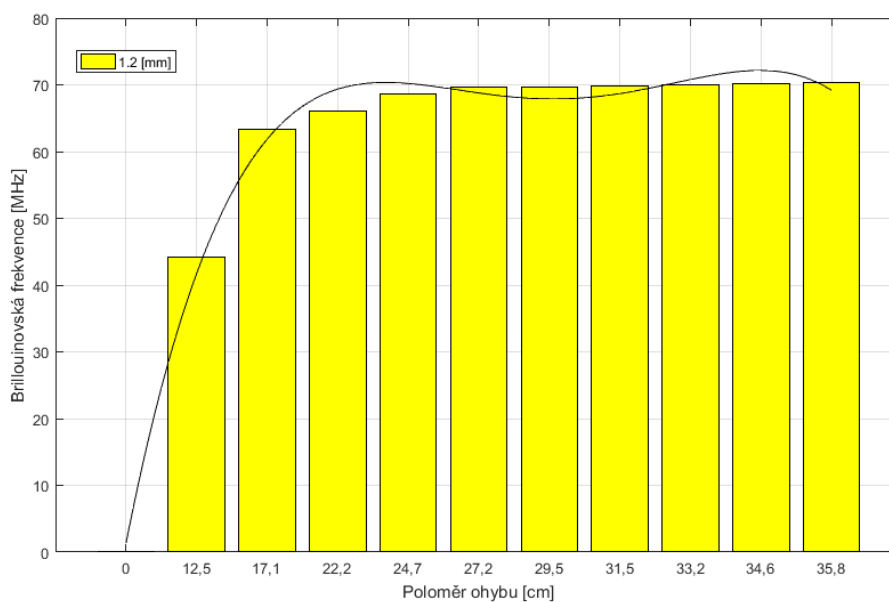


Obr. E.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce Den Braven, krycí vrstva: trojúhelník



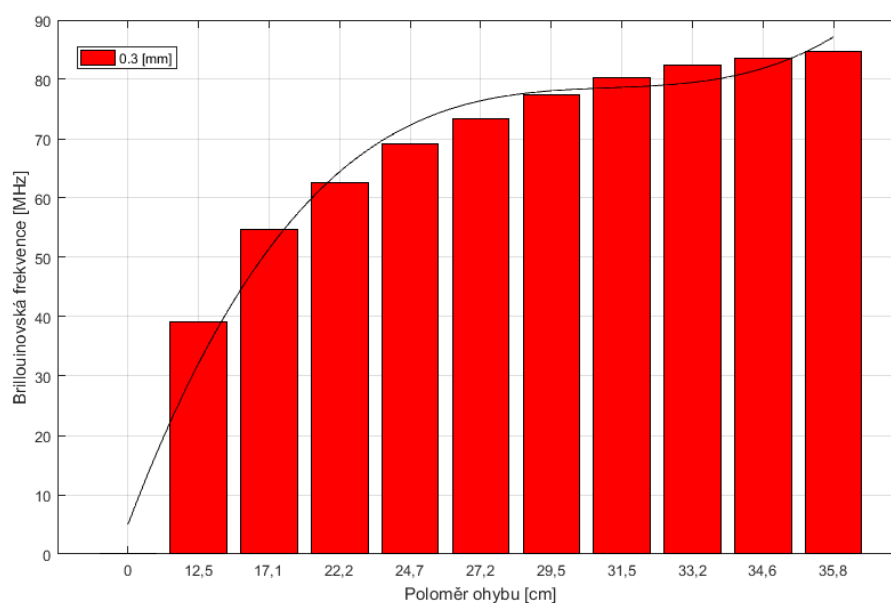
Obr. E.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



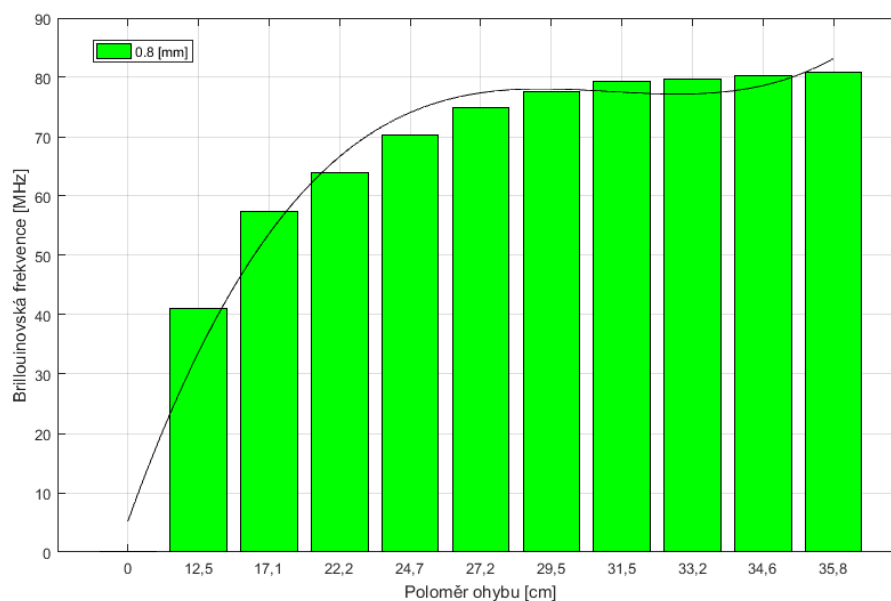
Obr. E.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1 mm ovál

Příloha F: Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1 mm ovál

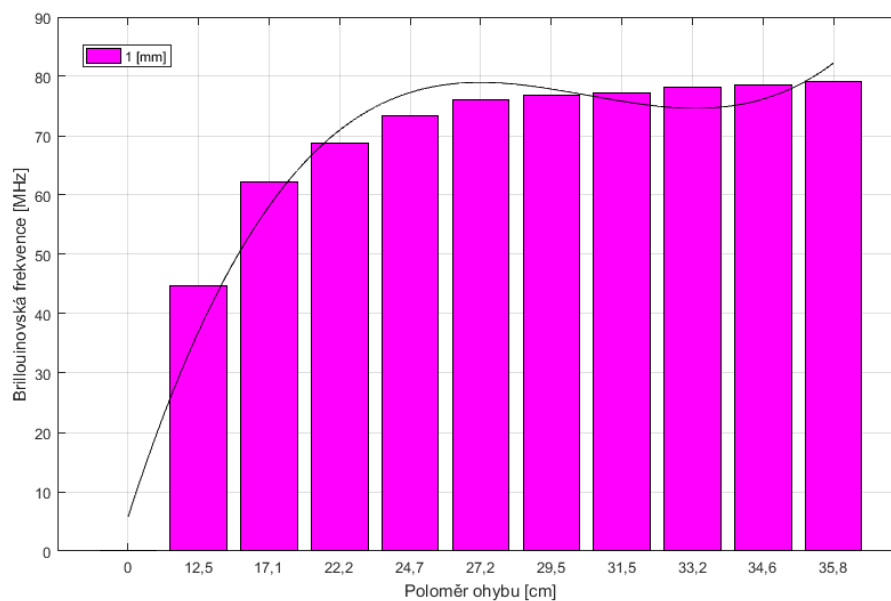


Obr. F.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

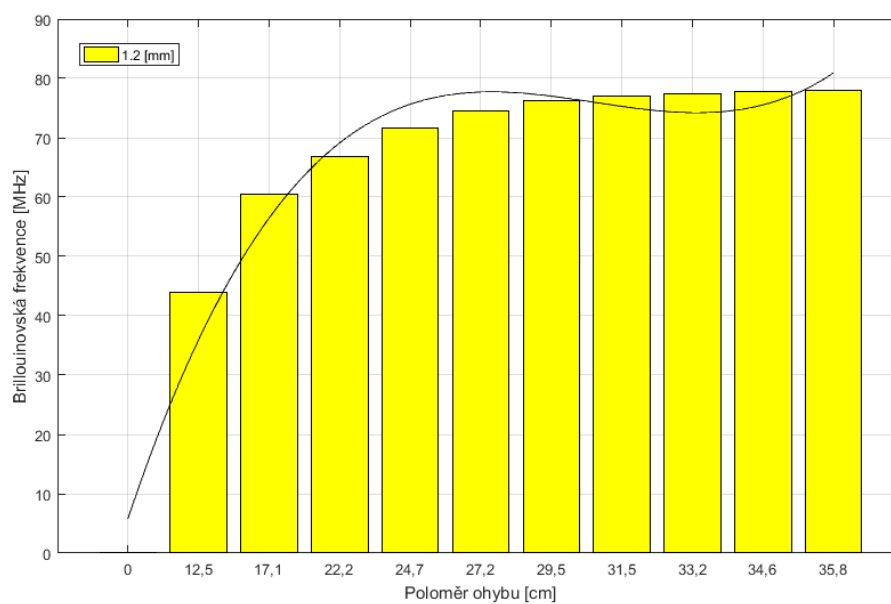


Obr. F.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm

Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1 mm ovál



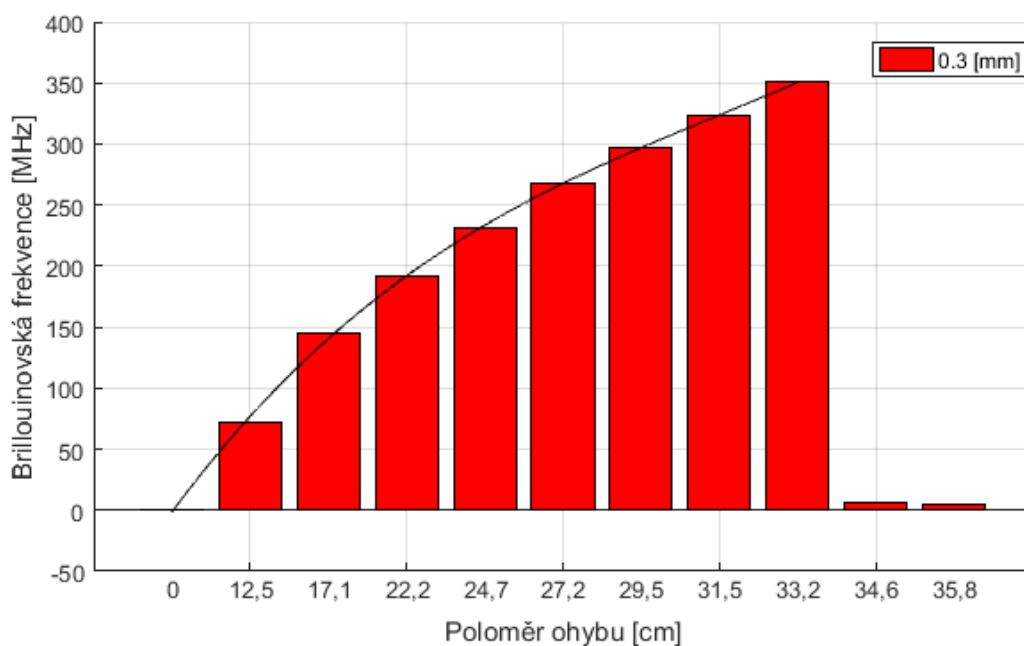
Obr. F6: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



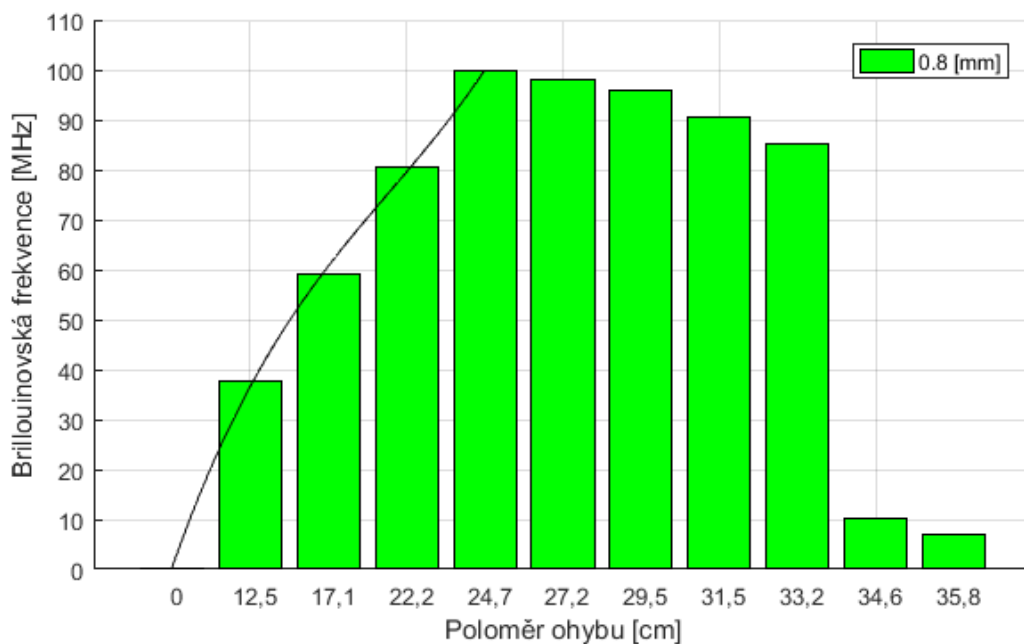
Obr. F7: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Epoxidová pryskyřice 1200, výrobce Kittfort, krycí vrstva: nespecifická

Příloha G: Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Epoxidová pryskyřice 1200, výrobce Kittfort, krycí vrstva: nespecifická

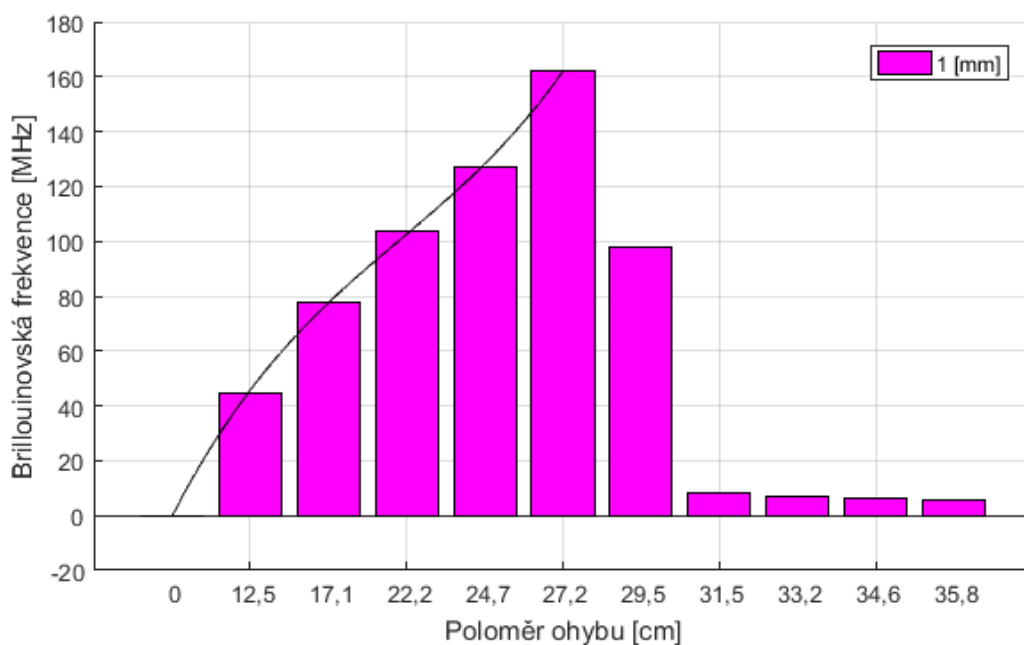


Obr. G1: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy nespecifické (0,3 mm)

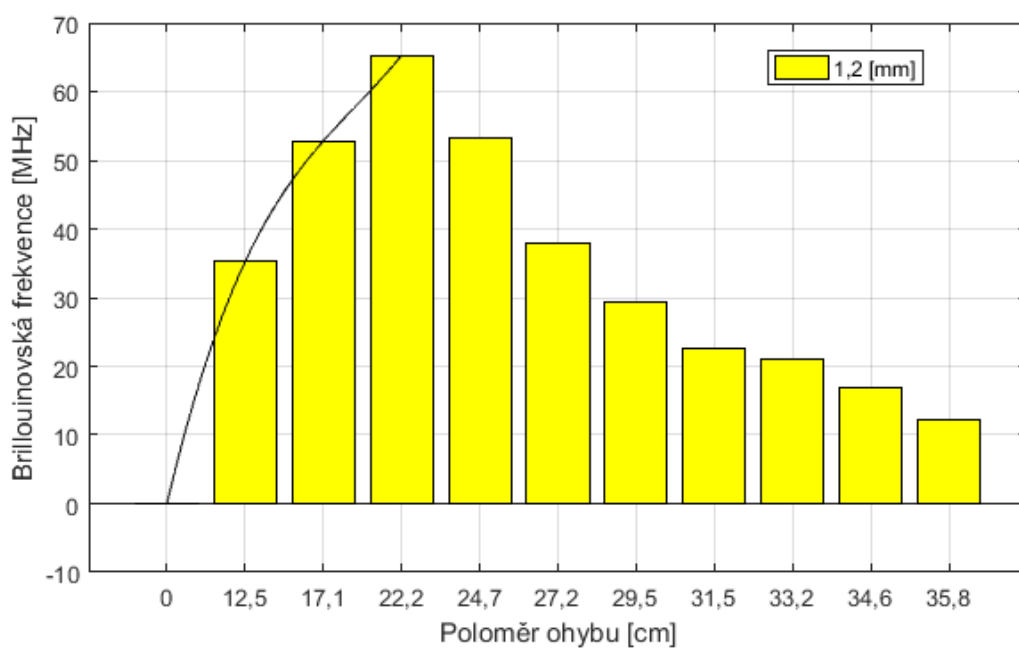


Obr. G2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy nespecifické (0,8 mm)

Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Epoxidová pryskyřice 1200, výrobce Kittfort, krycí vrstva: nespecifická



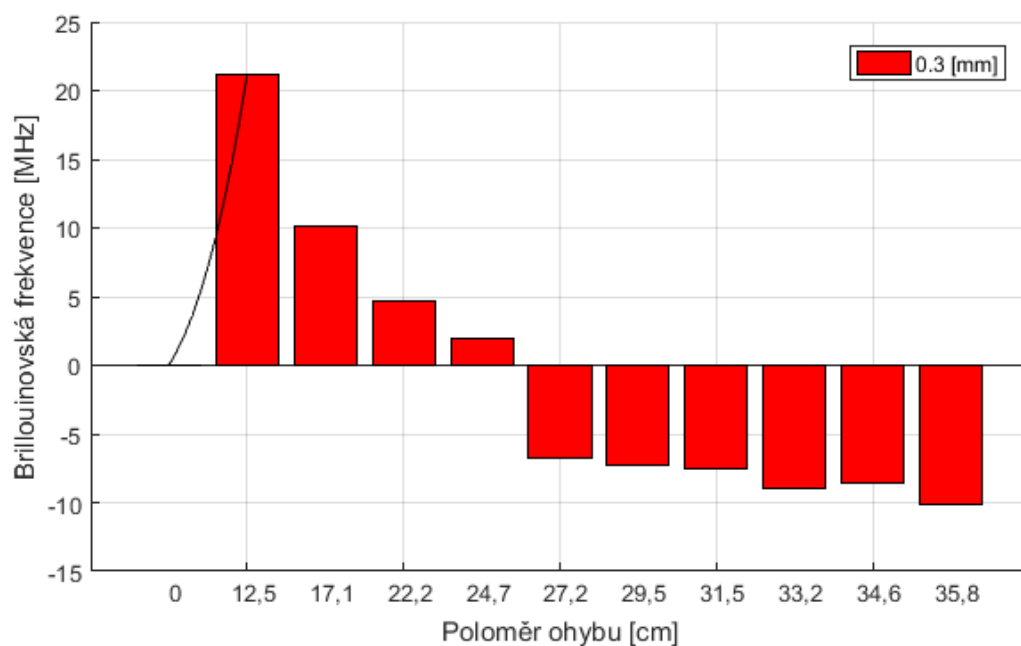
Obr. G3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy nespecifické (1,0 mm)



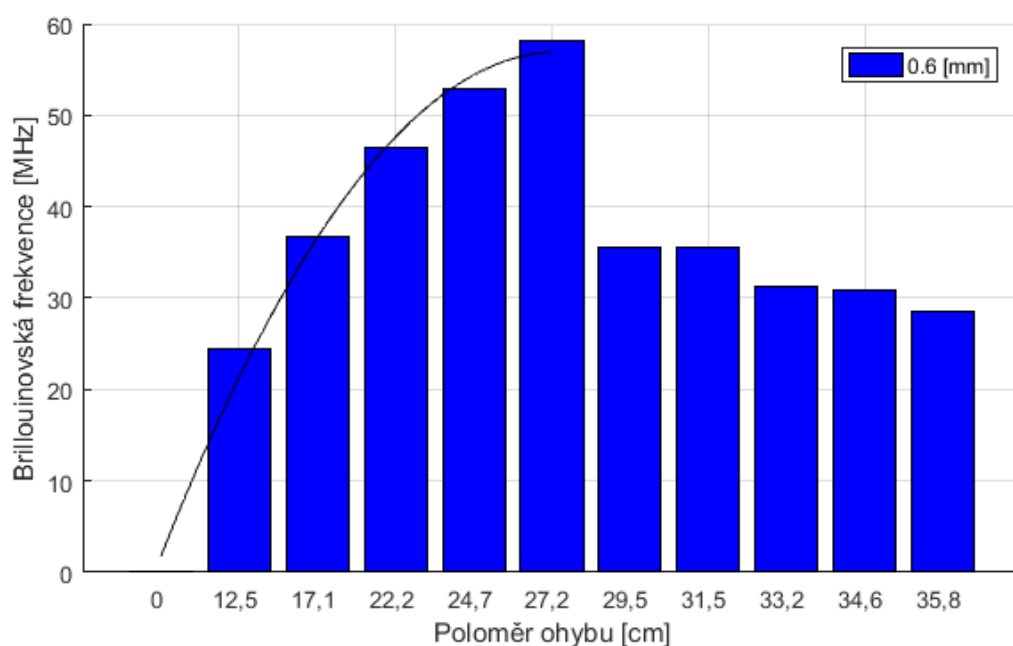
Obr. G4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy nespecifické (1,2 mm)

Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Epoxidová pryskyřice 1200, výrobce Kittfort, krycí vrstva: nespecifická (druhá část)

Příloha H: *Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Epoxidová pryskyřice 1200, výrobce Kittfort, krycí vrstva: nespecifická (druhá část)*

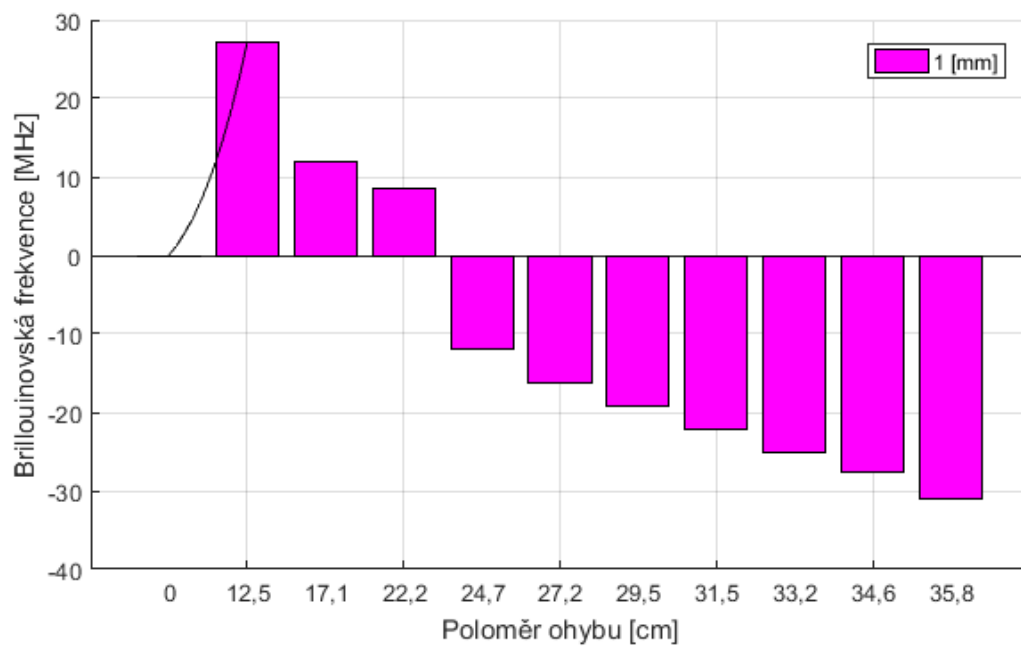


Obr. H1: *Graf a regresní křivka podkladové vrstvy nespecifické (0,3 mm)*

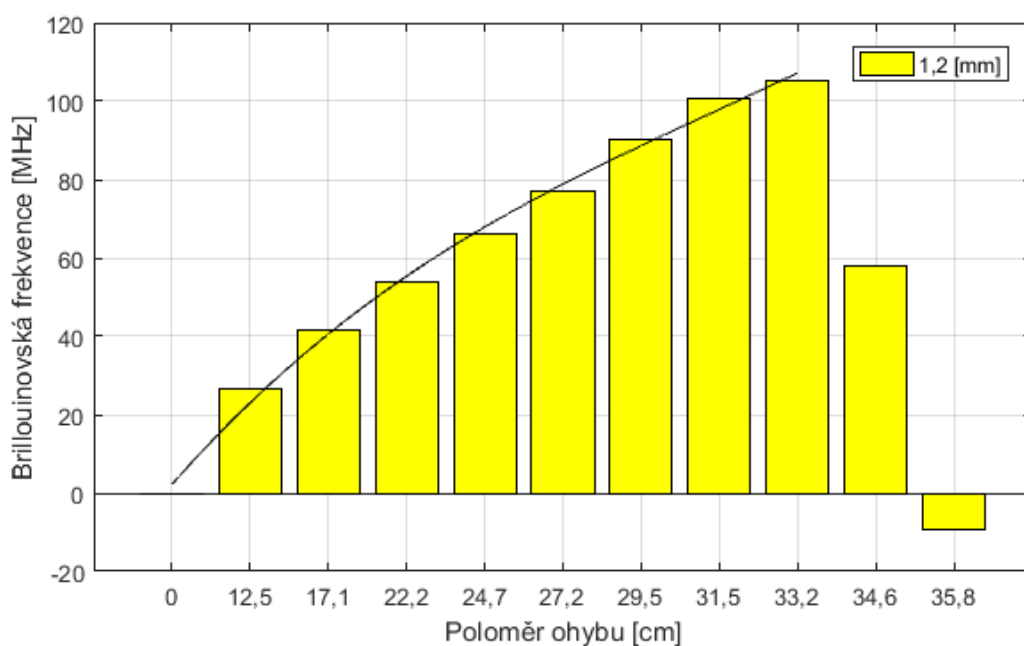


Obr. H2: *Graf a regresní křivka podkladové vrstvy nespecifické (0,6 mm)*

Grafy z naměřených hodnot optického vlákna G.652.D. Lepidlo: Epoxidová pryskyřice 1200, výrobce Kittfort, krycí vrstva: nespecifická (druhá část)



Obr. H3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy nespecifické (1,0 mm)



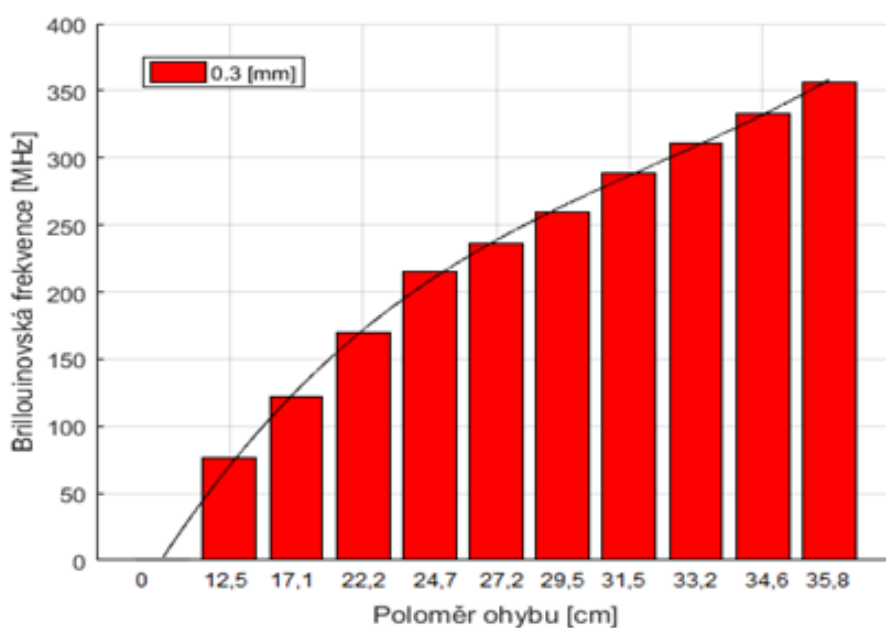
Obr. H4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy nespecifické (1,2 mm)

Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: trojúhelník

Příloha I: Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: trojúhelník

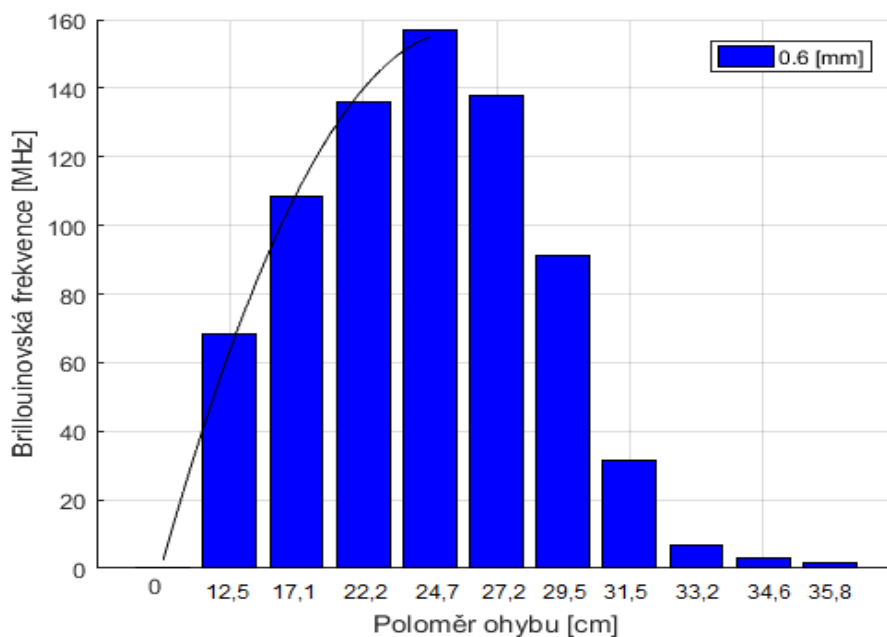
Tab. I.1: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu trojúhelník

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3	-0,0008	0,1891	4,0839	-0,4511	0,9982
0,6	-0,0071	0,3179	2,7626	-0,1021	0,9973
0,8	0,0014	0,0391	5,9290	-0,9847	0,9983
1,0	0,0022	0,0446	3,4980	0,1554	0,9983
1,2	-0,0010	0,1482	1,6750	0,2607	0,9961

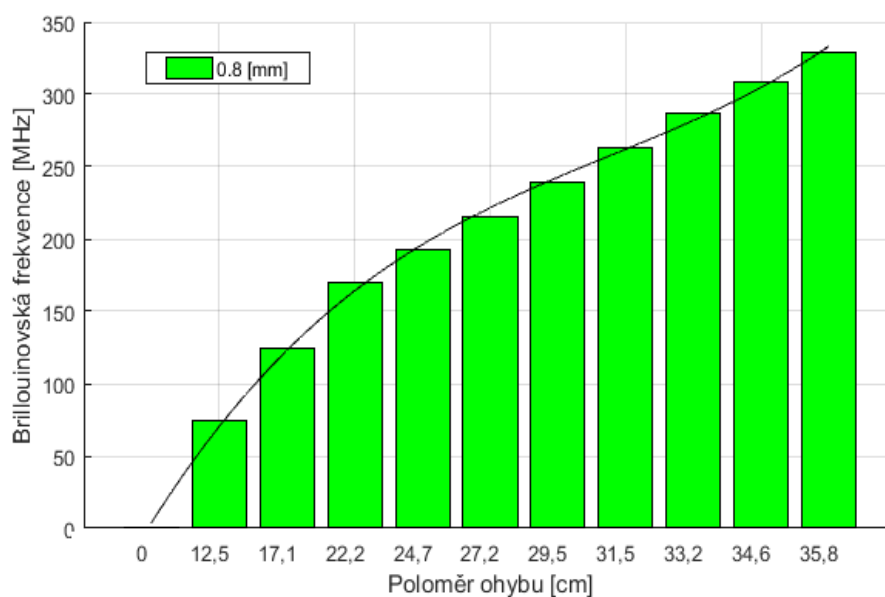


Obr. I.1: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: trojúhelník

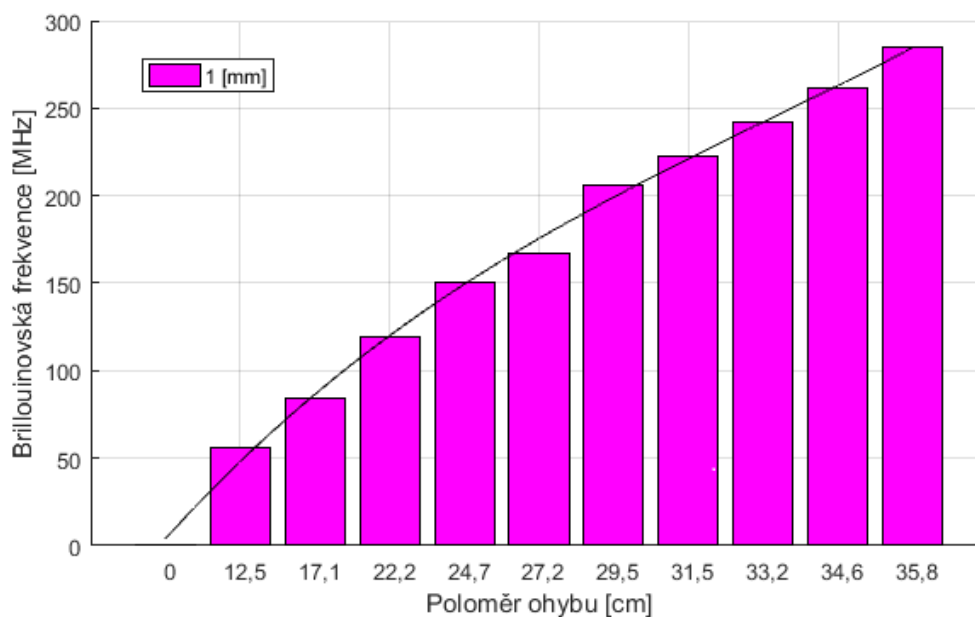


Obr. I.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

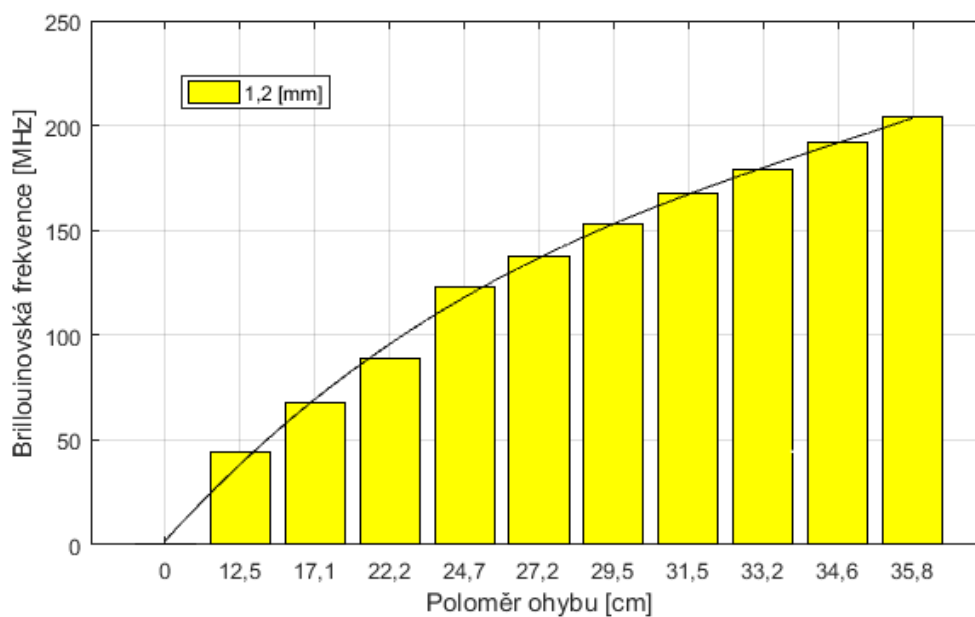


Obr. I.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm

Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: trojúhelník



Obr. I.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



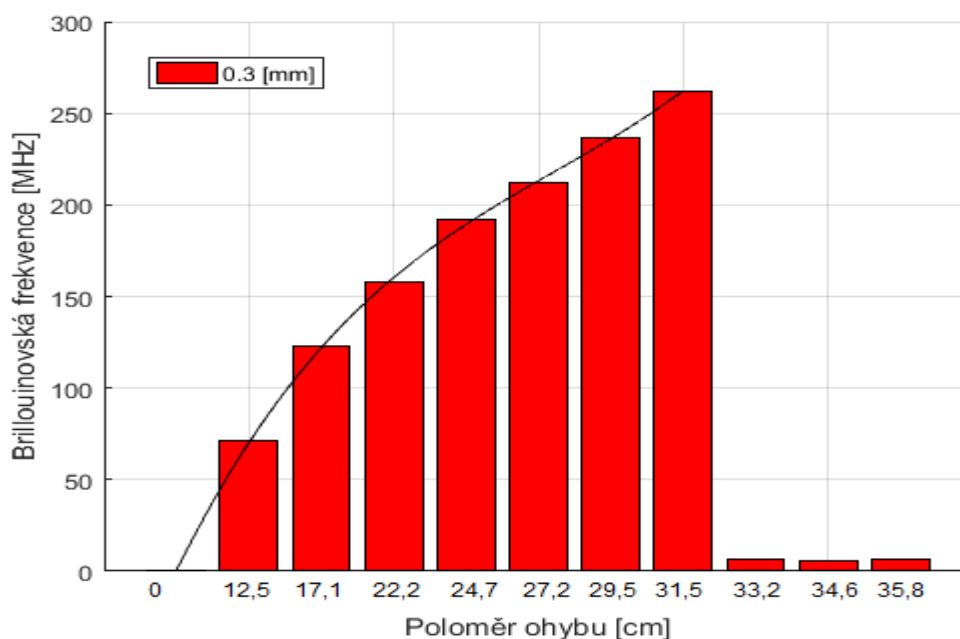
Obr. I.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1 mm ovál

Příloha J: *Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1 mm ovál*

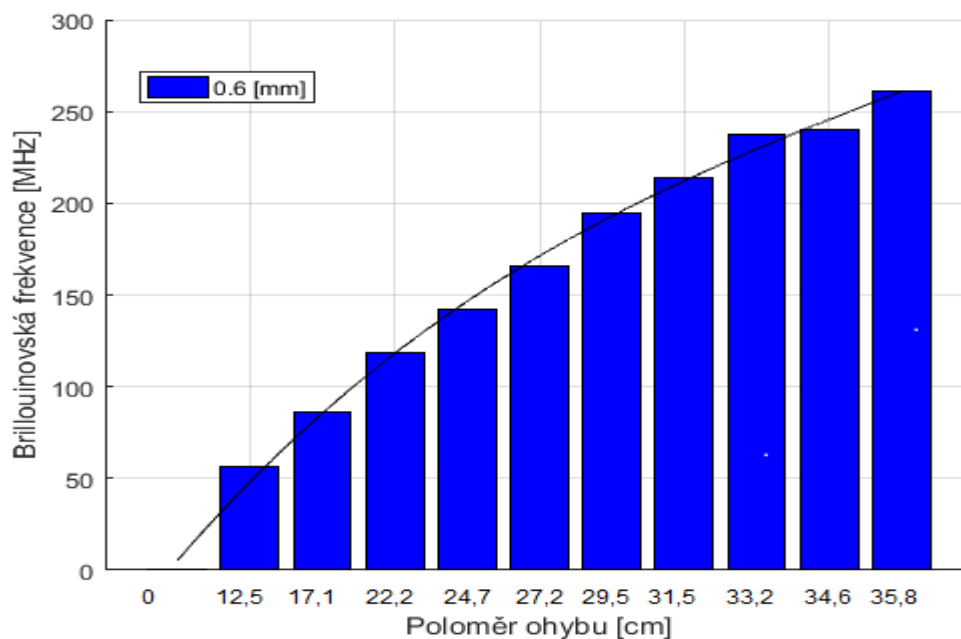
Tab. J.1: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 1 mm ovál

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3	-0,0018	0,1949	3,9273	-0,3580	0,9975
0,6	0,0006	0,0967	3,0890	0,3406	0,9981
0,8	0,0003	0,1164	2,1700	0,6149	0,9954
1,0	-0,0012	0,1627	1,8090	0,7724	0,9949
1.2	0,0023	-0,0628	3,5530	0,1302	0,9970

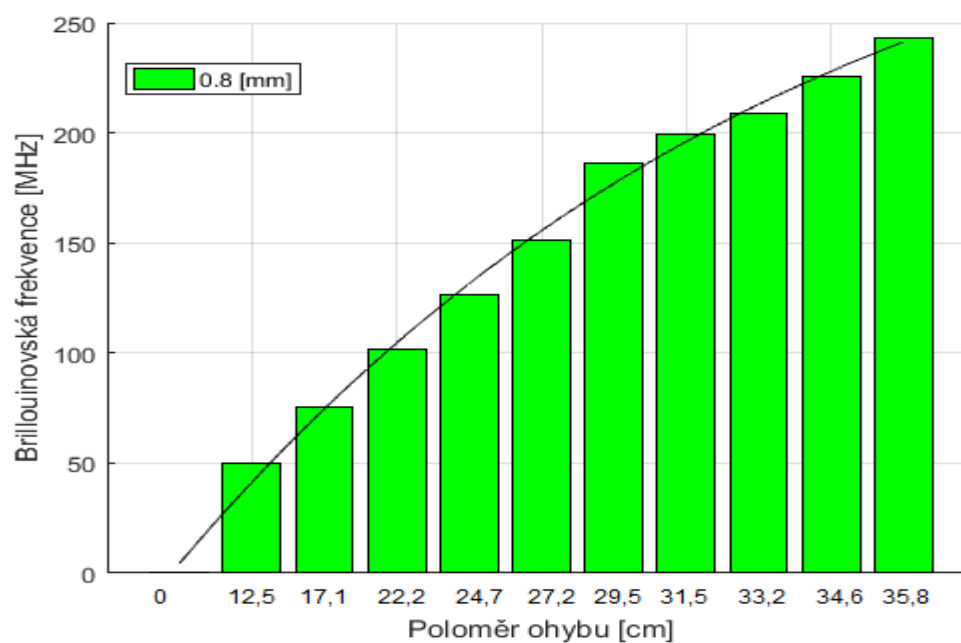


Obr. J.1: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1 mm ovál

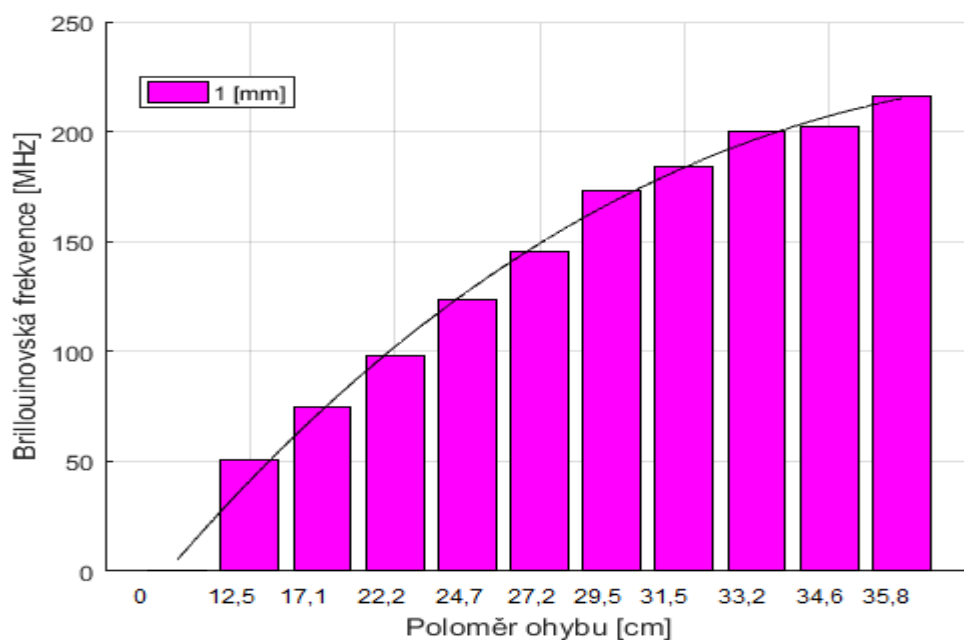


Obr. J.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

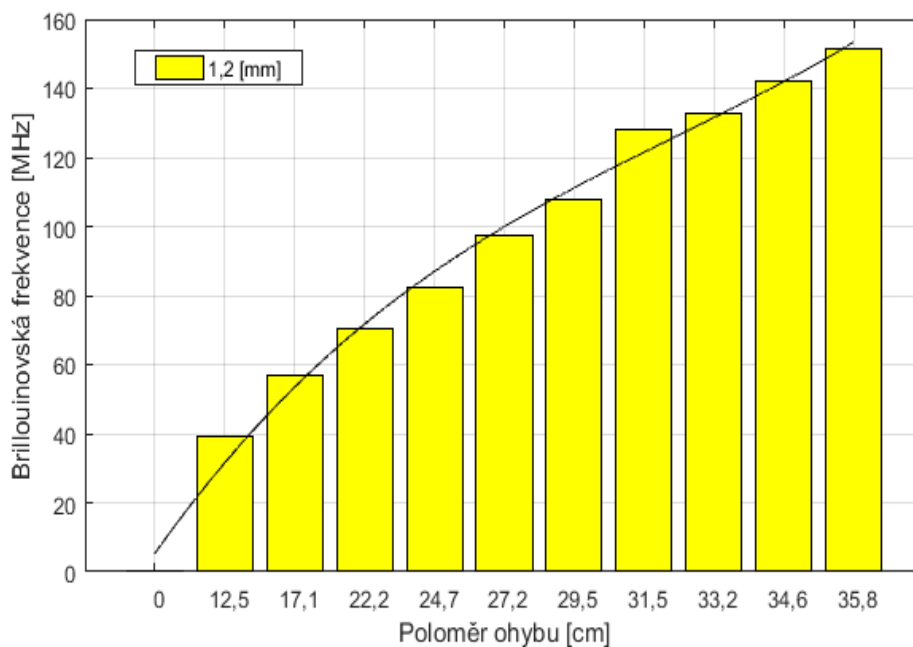


Obr. J.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm

Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1 mm ovál



Obr. J.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



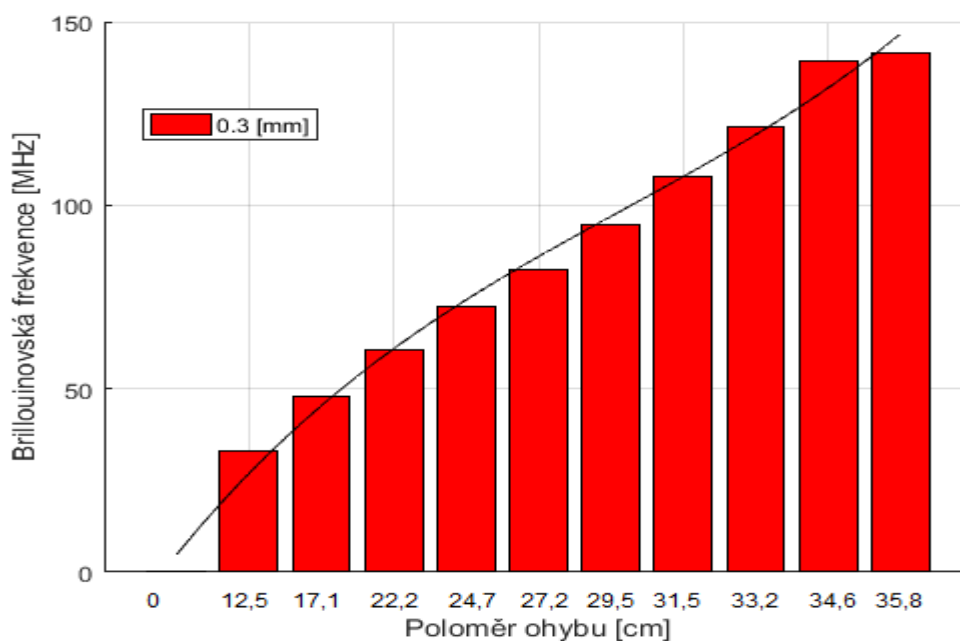
Obr. J.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,5 mm ovál

Příloha K: Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,5 mm ovál

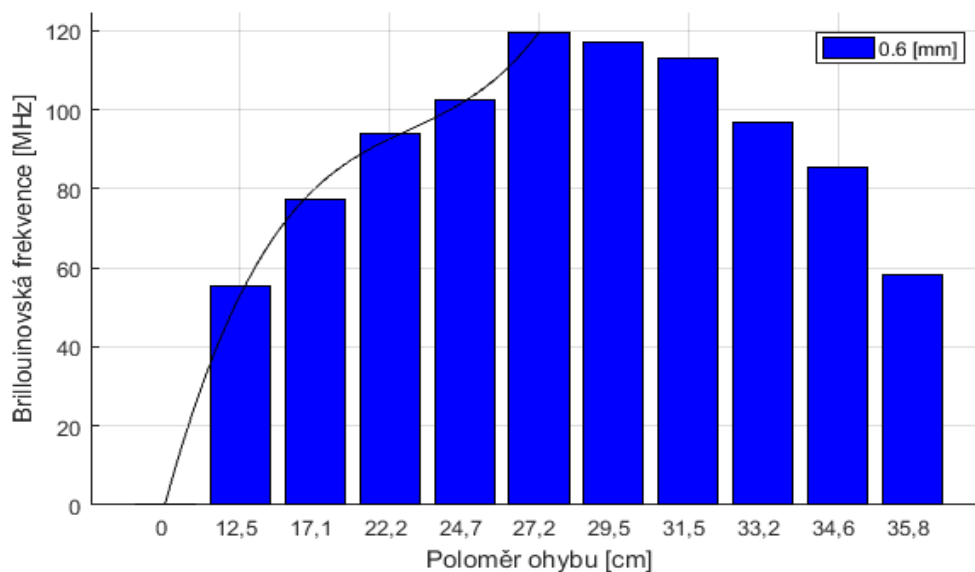
Tab. K.1: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 0,5 mm ovál

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3	0,0041	-0,1462	3,9750	-0,1682	0,9973
0,6	-0,0029	0,0877	3,7921	0,0395	0,9976
0,8	0,0011	0,0365	4,3650	-0,0463	0,9978
1,0	-0,0003	0,1063	3,9780	-0,6560	0,9962
1.2	-0,0178	0,7273	0,8476	0,0861	0,9997

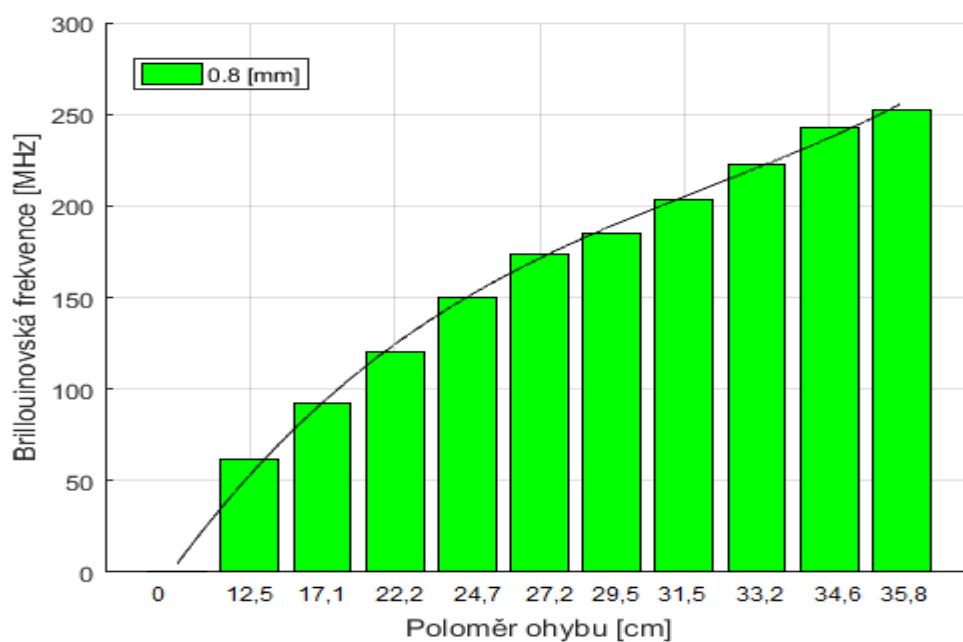


Obr. K.1: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,5 mm ovál

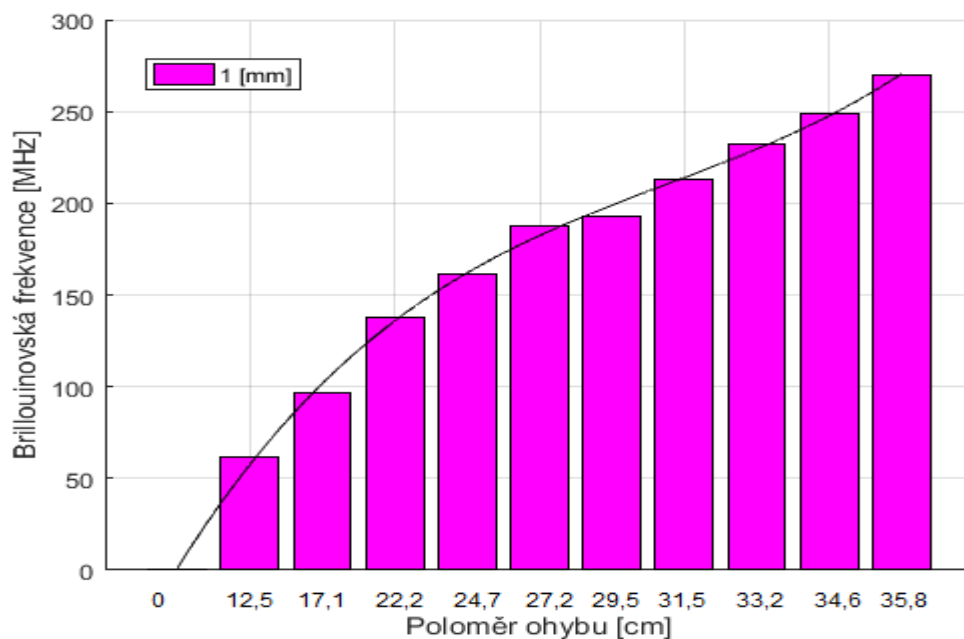


Obr. K.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

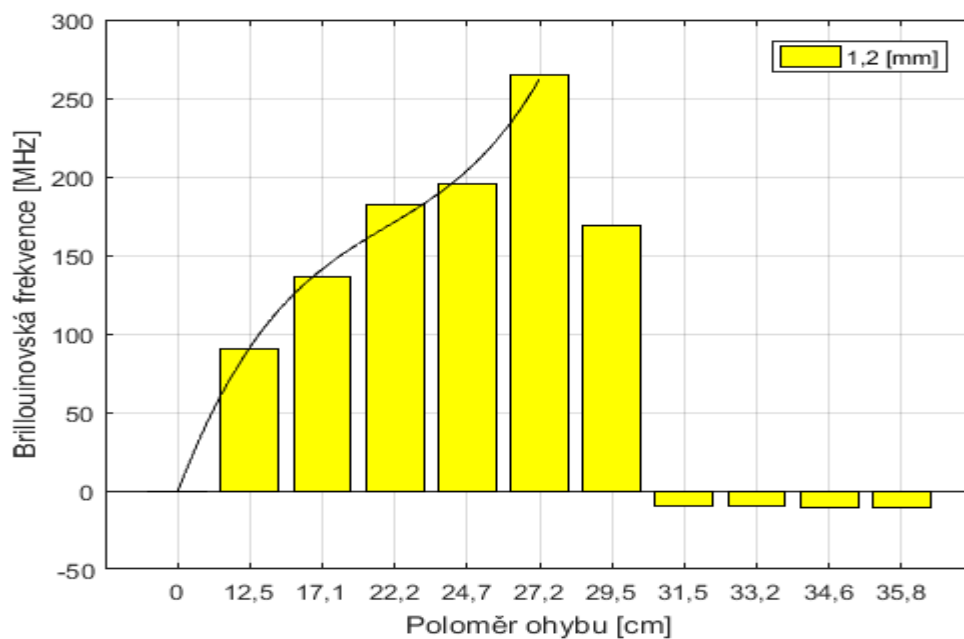


Obr. K.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm

Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,5 mm ovál



Obr. K.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



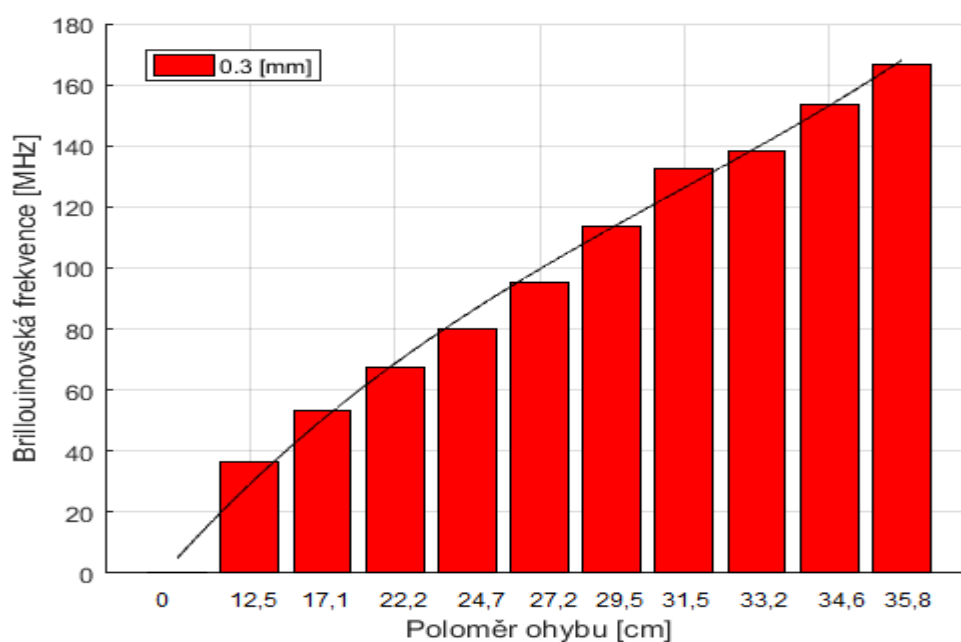
Obr. K.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,2 mm ovál

Příloha L: *Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,2 mm ovál*

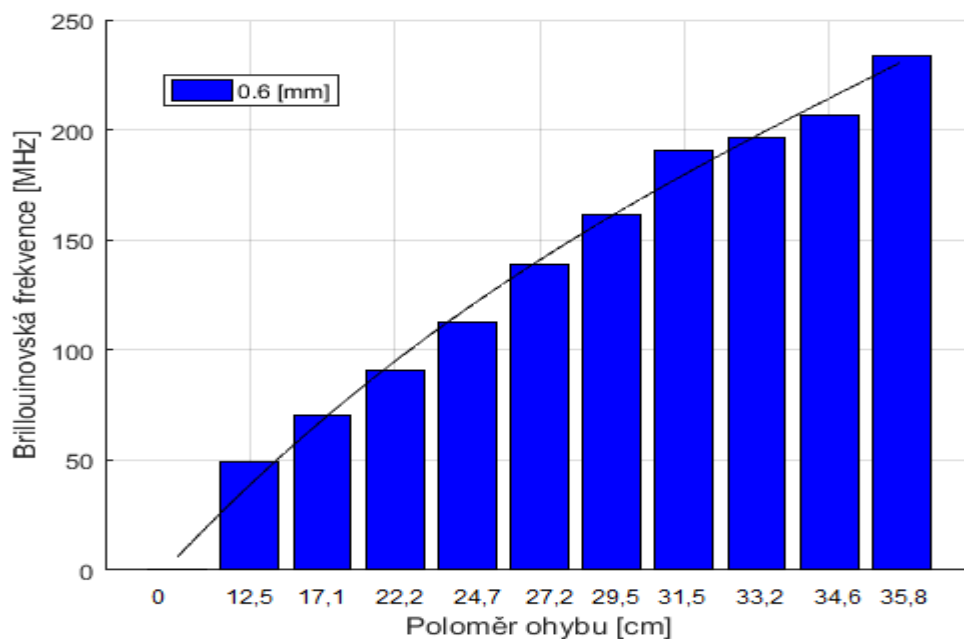
Tab. L.1: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 0,2 mm ovál

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3	0,0038	-0,1089	3,7040	0,1046	0,9977
0,6	0,0032	-0,0369	3,6410	0,5569	0,9939
0,8	0,0014	0,0230	4,3370	-0,3618	0,9993
1,0	0,0003	0,0727	3,8570	-0,2778	0,9989
1.2	0,0029	-0,0541	7,0840	-0,7156	0,9971

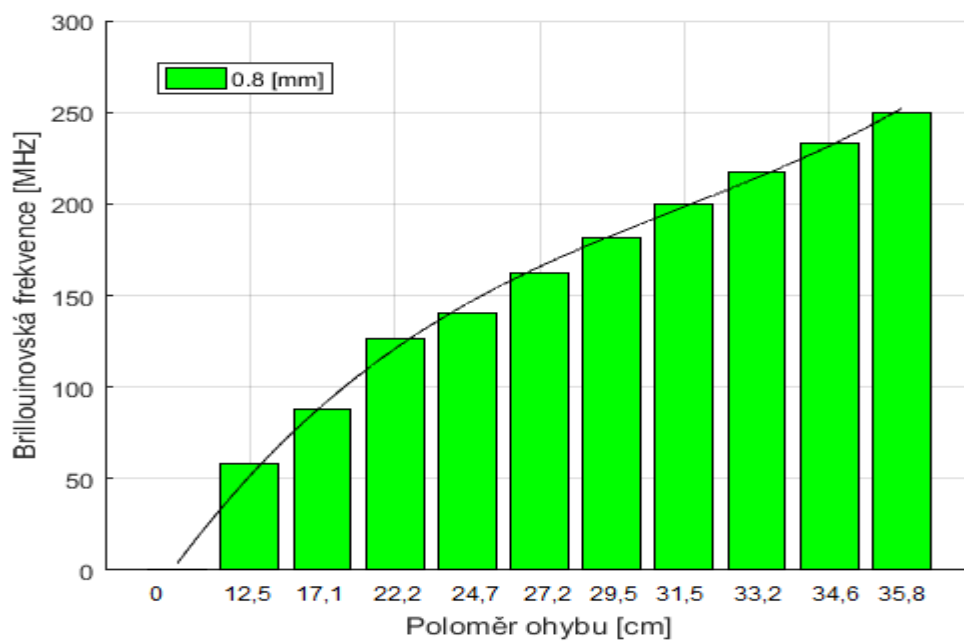


Obr. L.1: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,2 mm ovál

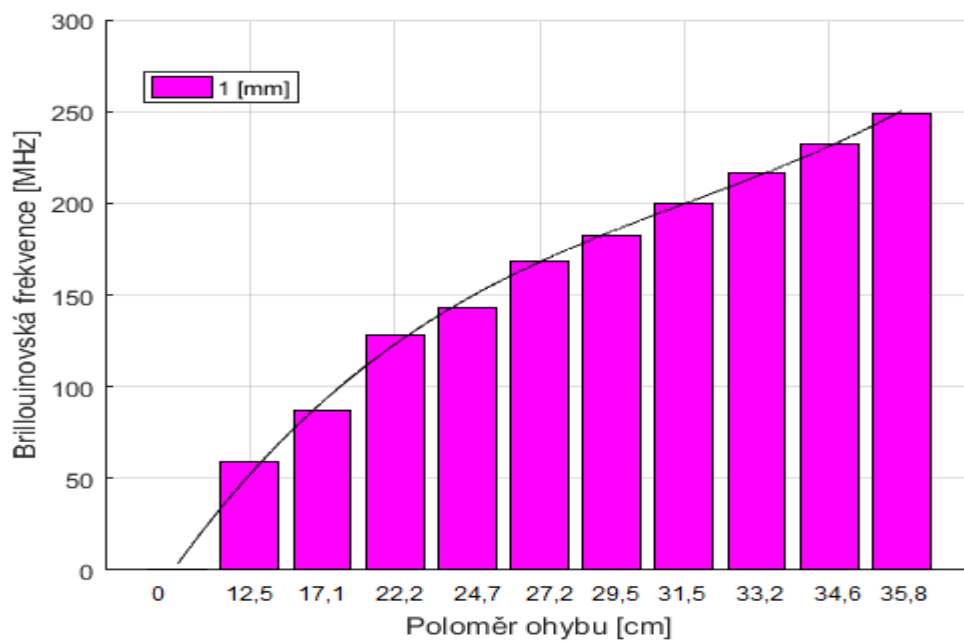


Obr. L.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

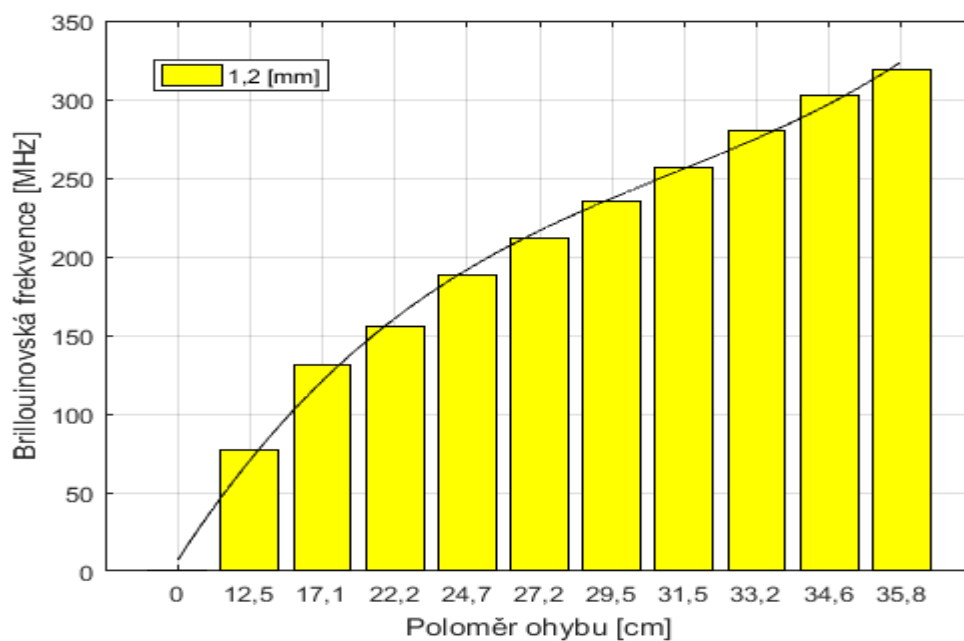


Obr. L.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm

Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 0,2 mm ovál



Obr. L.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



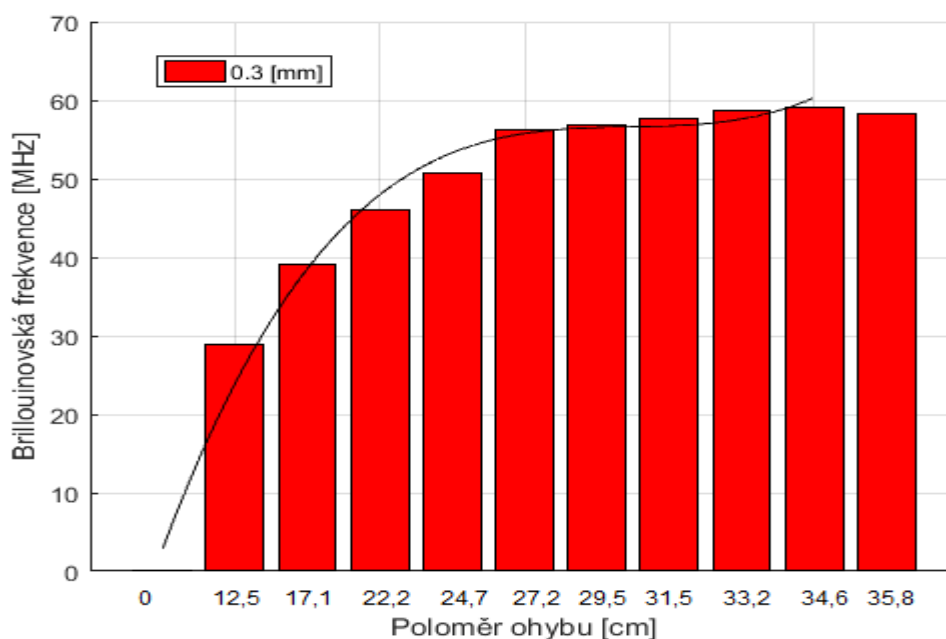
Obr. L.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce Den Braven, krycí vrstva: trojúhelník

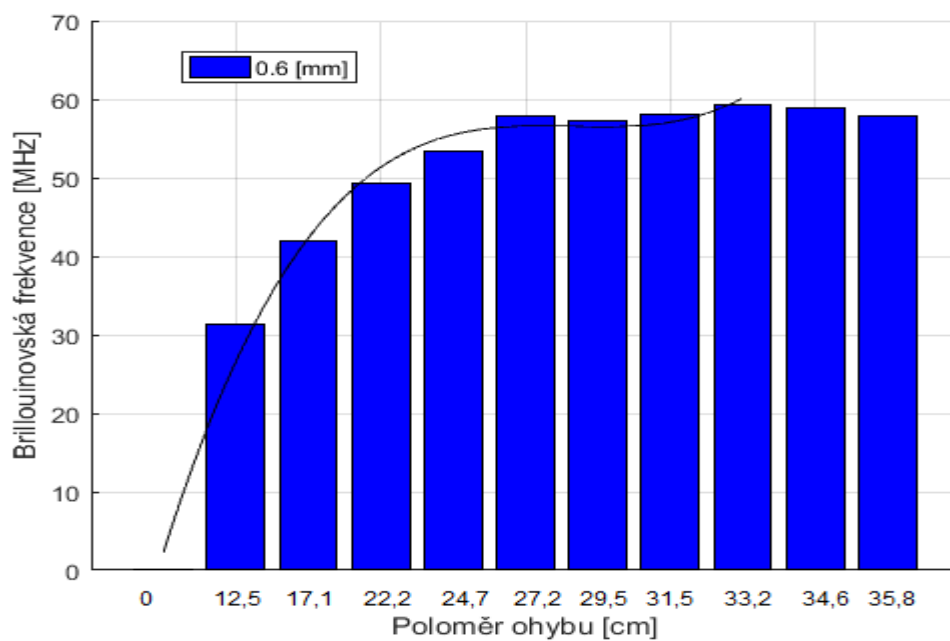
Příloha M: Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce Den Braven, krycí vrstva: trojúhelník

Tab. M.1: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu trojúhelník

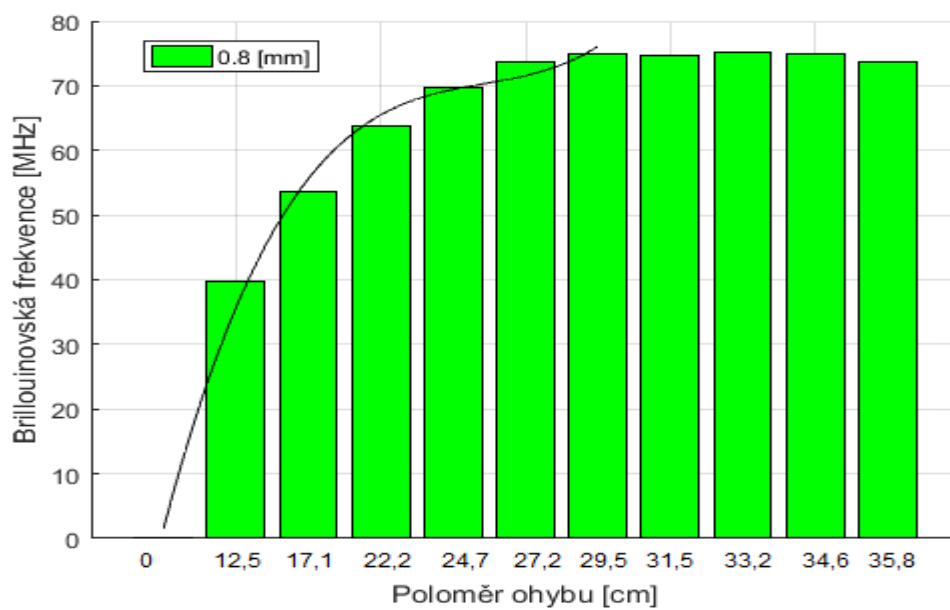
$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3	-0,0010	0,0194	2,1950	0,0699	0,9978
0,6	-0,0009	0,0059	2,5830	0,0007	0,9984
0,8	-0,0016	0,0291	3,0690	0,0015	0,9993
1,0	-0,0018	0,0456	2,8570	0,0661	0,9989
1,2	-0,0017	0,0276	3,7710	0,0214	0,9991



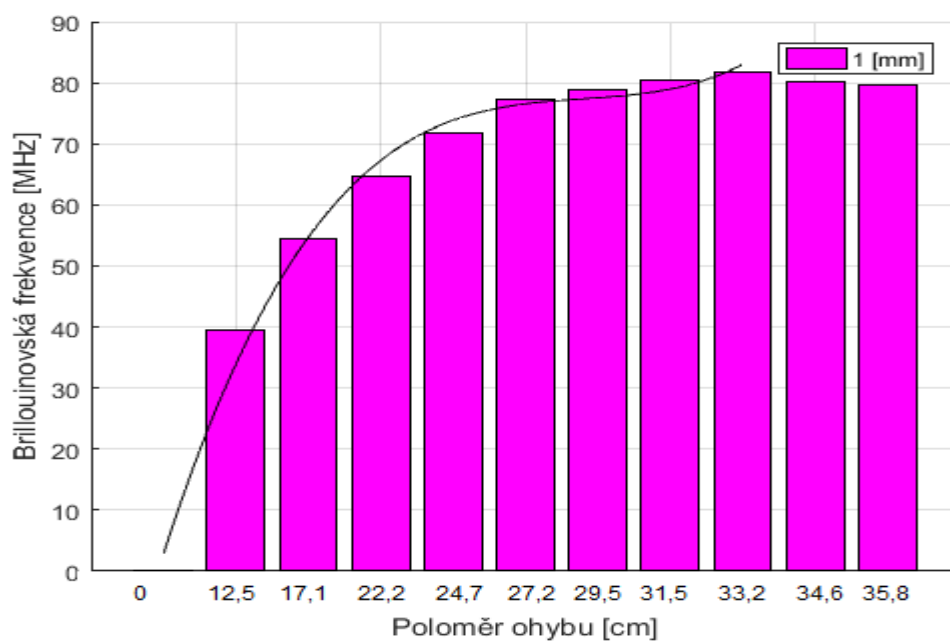
Obr. M.1: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm



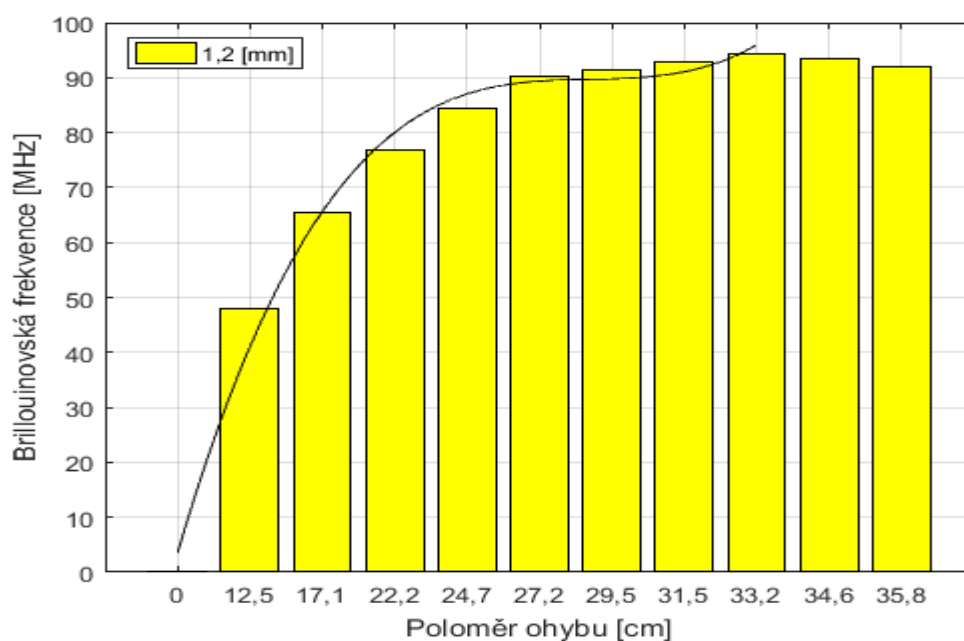
Obr. M.1: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm



Obr. M.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm



Obr. M.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



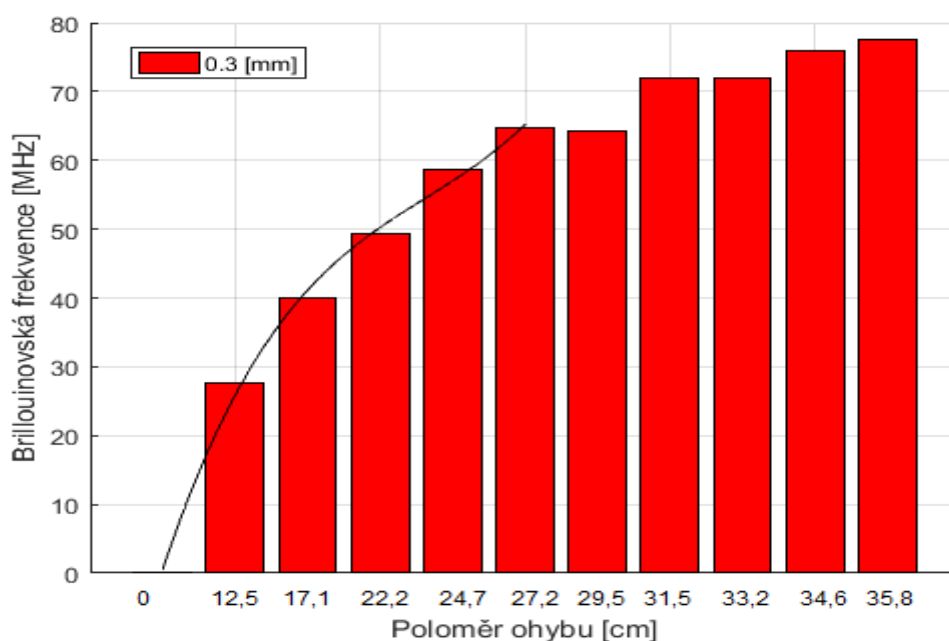
Obr. M.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1 mm ovál

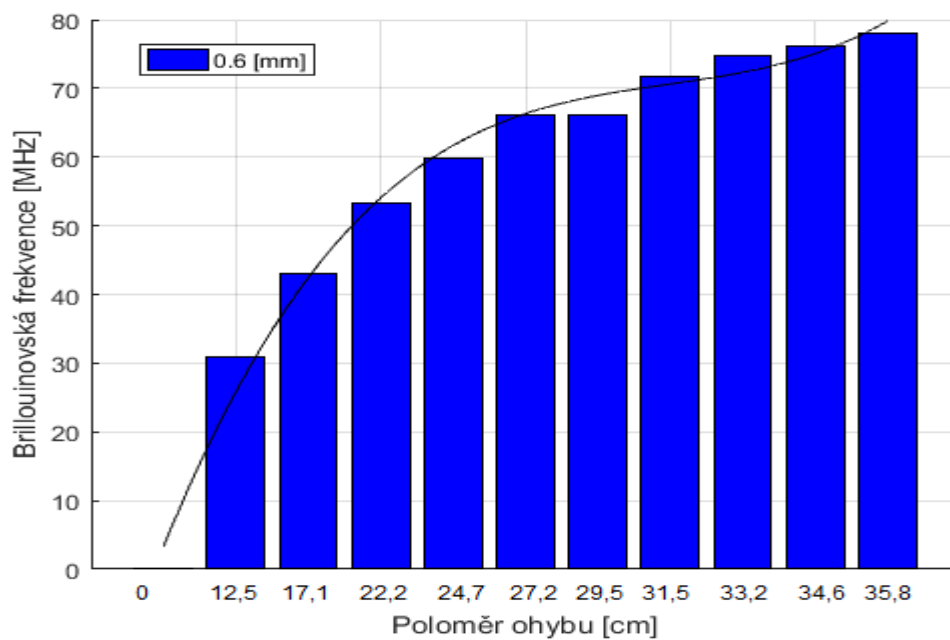
Příloha N: Tabulka s koeficienty p1-p4, grafy naměřených hodnot optického vlákna ALLWAVE s ID: 040VN6777A1CLG. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce Den Braven, krycí vrstva: 1 mm ovál

Tab. N.1: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 1 mm ovál

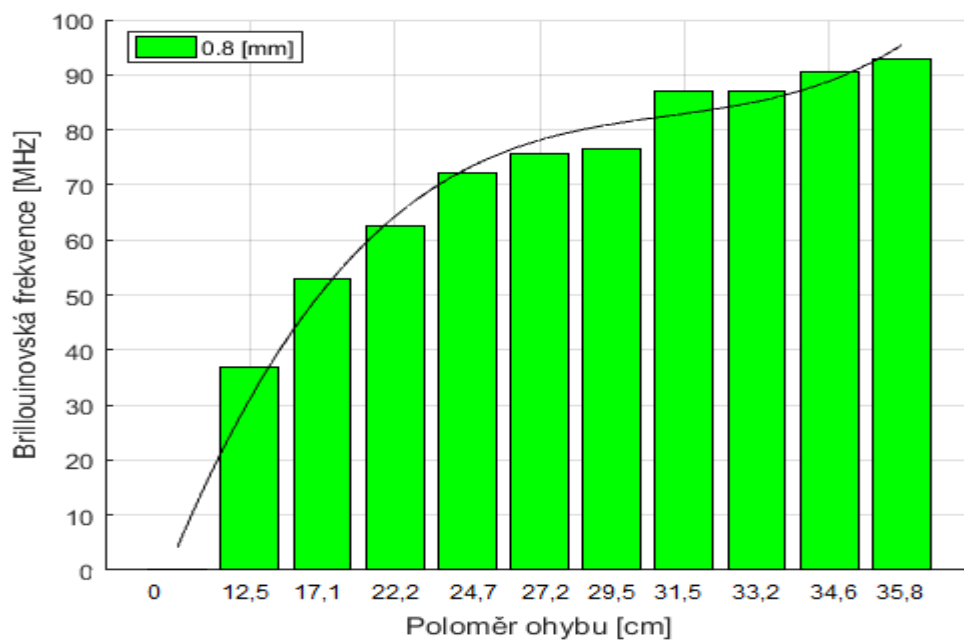
$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3	-0,0009	0,0394	1,8770	-0,0288	0,9958
0,6	-0,0005	0,0104	2,4630	-0,0433	0,9983
0,8	-0,0006	-0,0181	3,3180	-0,1477	0,9954
1,0	-0,0010	0,0166	3,0760	-0,0406	0,9990
1.2	-0,0007	0,0023	3,3040	-0,0268	0,9990



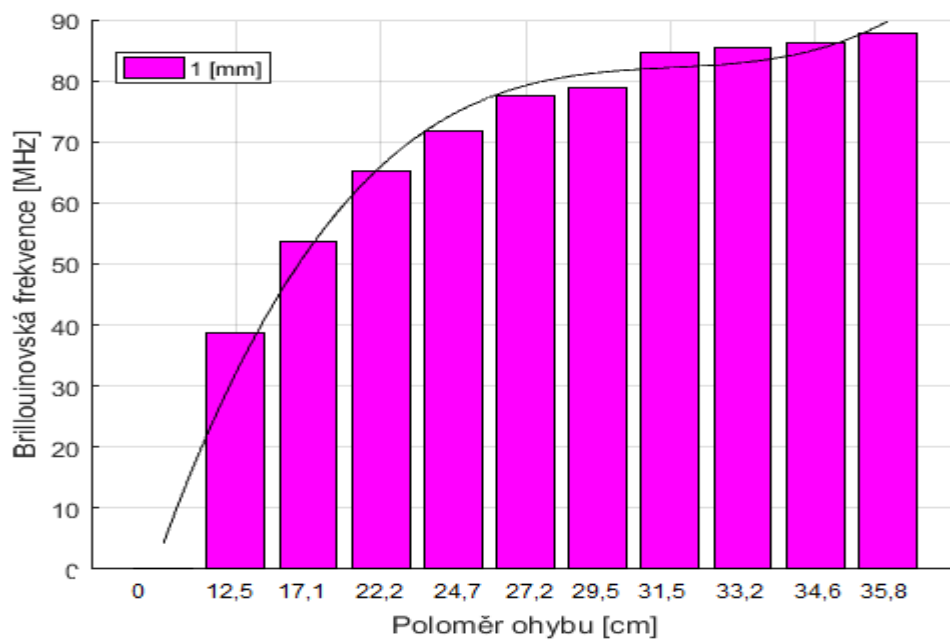
Obr. N.1: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm



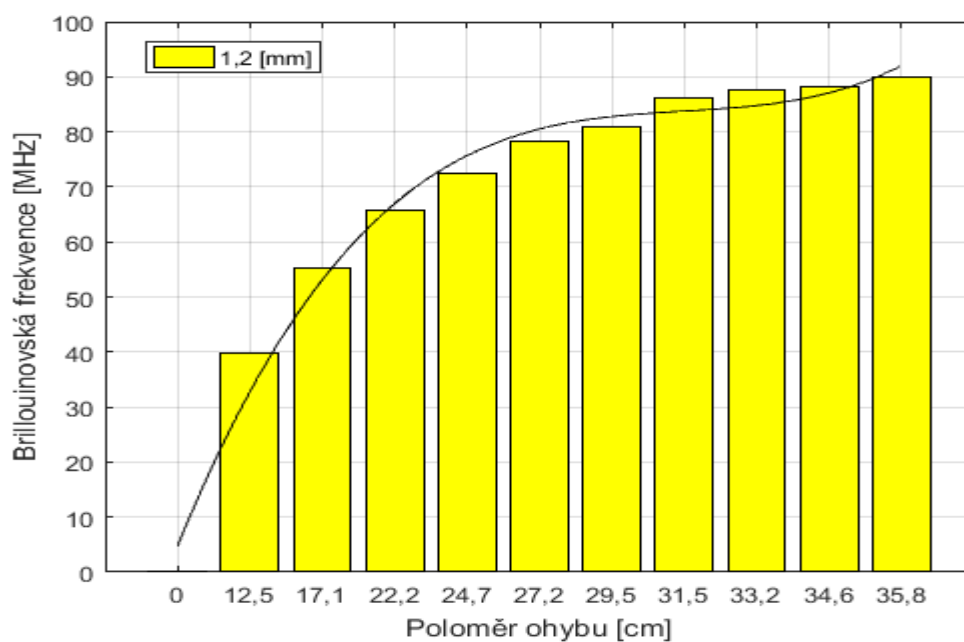
Obr. N.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm



Obr. N.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm



Obr. N.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



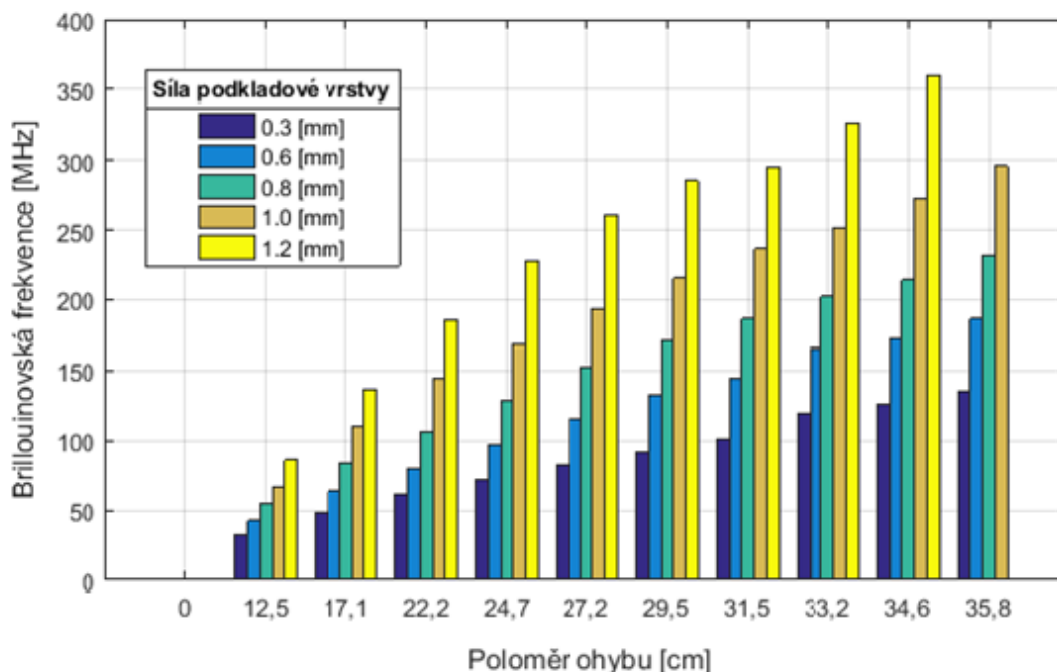
Obr. N5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník

Příloha O: *Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník*

Tab. O.1: *Optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB, lepidlo: Mamut Glue v tubě, krycí vrstva: trojúhelník*

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	32,6443	42,3474	55,1891	66,3419	86,0901
17,1	48,4624	63,4041	84,0087	110,3177	136,6286
22,2	61,4681	79,5932	106,2908	144,6734	185,9913
24,7	72,3925	97,0297	128,7704	168,4127	227,8391
27,2	82,1862	115,4466	152,9794	193,8419	261,2511
29,5	91,5628	132,7682	171,2403	215,2219	285,3613
31,5	101,5592	144,2914	186,4328	236,3939	294,8237
33,2	119,4038	165,6179	202,3006	251,5655	327,1523
34,6	126,2283	172,2555	214,1013	272,0351	360,3125
35,8	134,8152	186,5521	231,8716	295,8169	1,2476

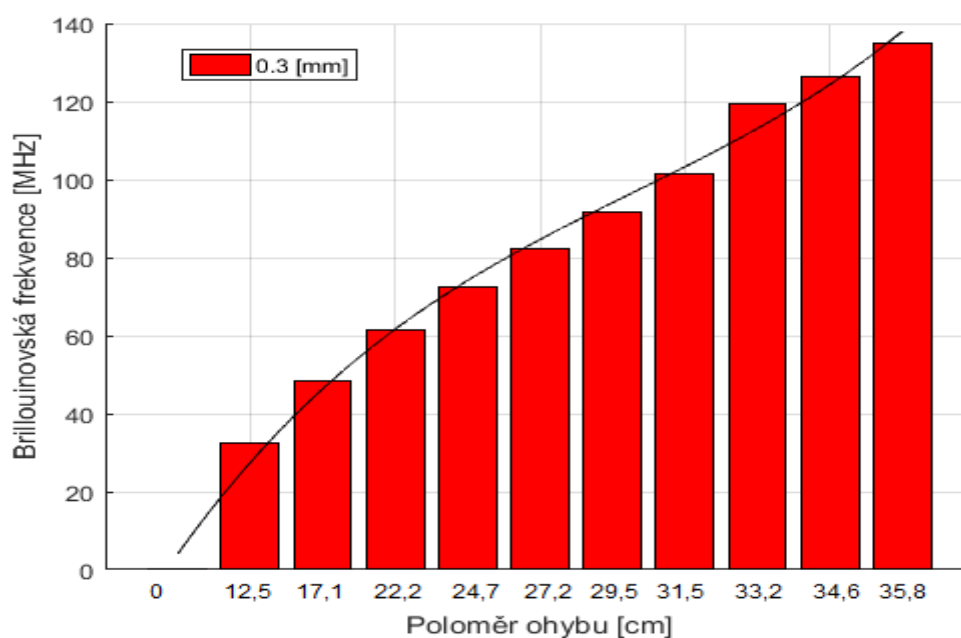


Obr. O.1: *Graf vykreslený z hodnot tabulky O.1. Optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB druh lepidla: Mamut GLue, tvar krycí vrstvy: trojúhelník*

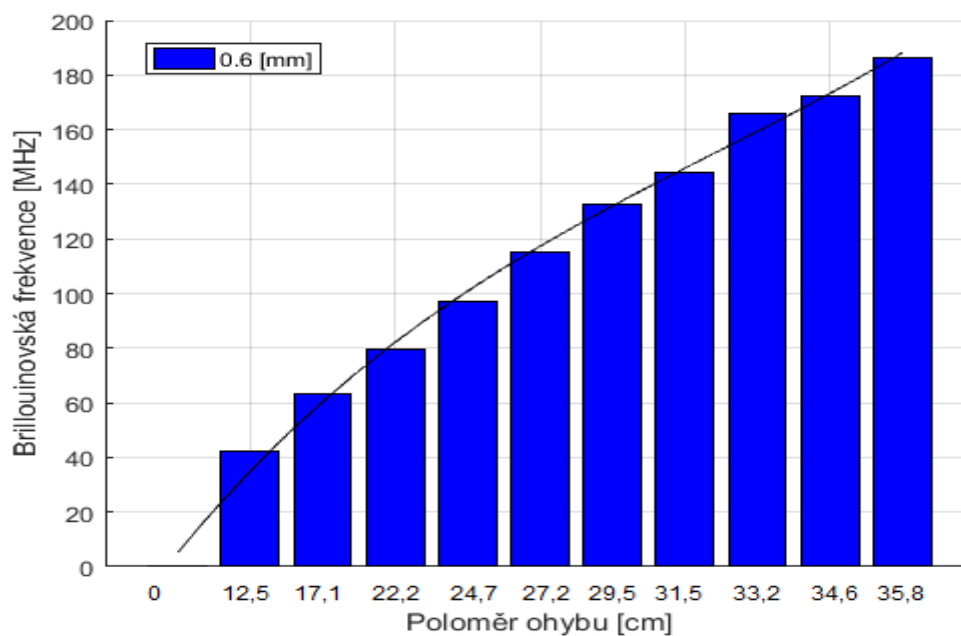
Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník

Tab.O.2: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu trojúhelník

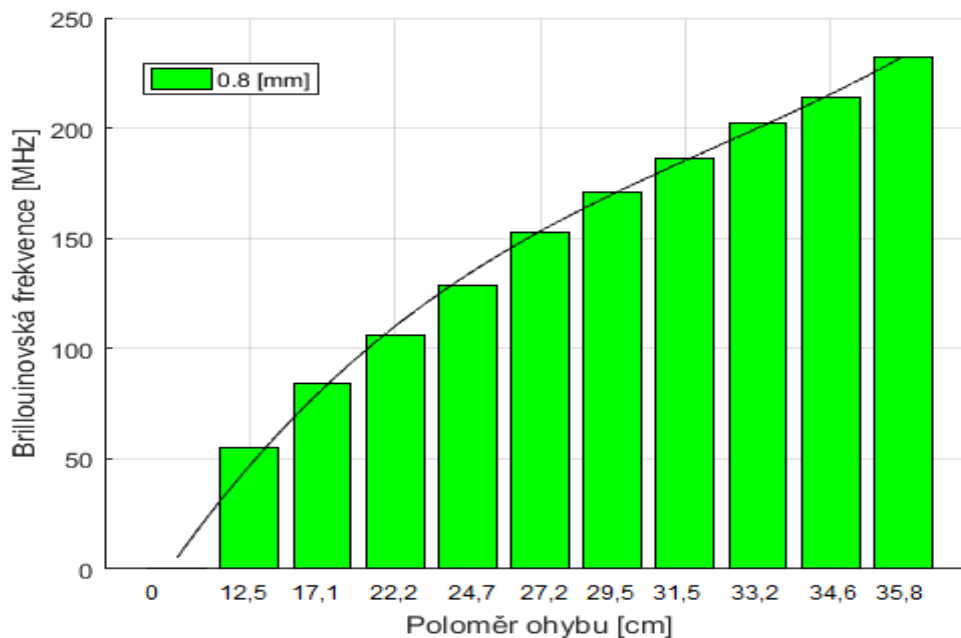
$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	koeficient p3
0,3	0,0032	-0,1111	3,6761,	-0,2288	0,9978
0,6	0,0029	-0,0625	3,7391	0,0963	0,9981
0,8	0,0016	0,0055	4,1241	0,0776	0,9984
1,0	0,0014	0,0298	5,2076	-0,6538	0,9982
1,2	-0,0022	0,2322	4,4901	-0,3356	0,9961



Obr. O2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

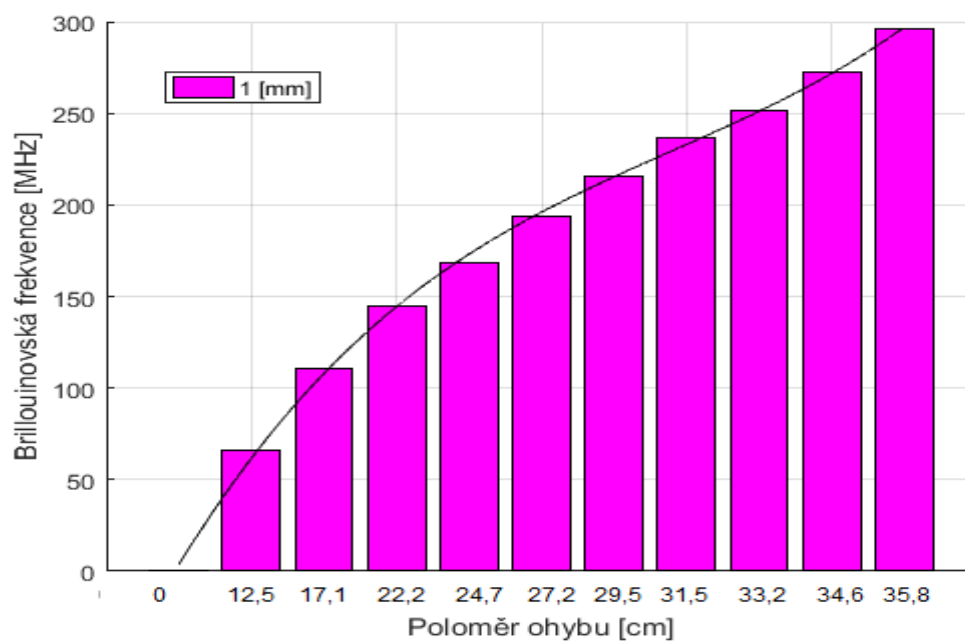


Obr. O.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

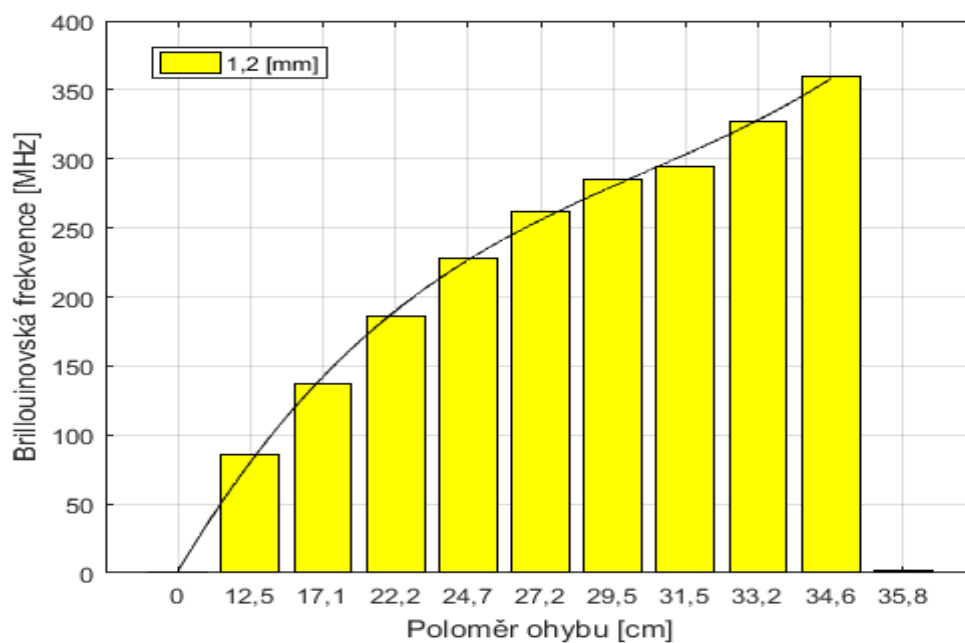


Obr. O.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník



Obr. O.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



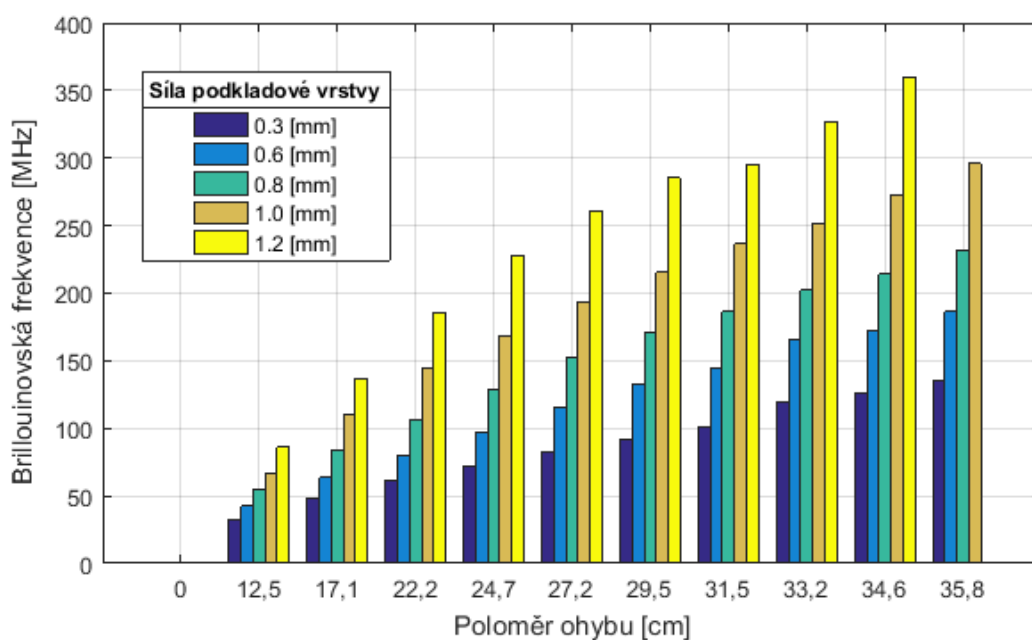
Obr. O.6: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál

Příloha P: Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál

Tab. P.1: Optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB, lepidlo: Mamut Glue v tubě, krycí vrstva: 1 mm ovál

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	33,0152	47,6203	54,2707	58,4879	65,4159
17,1	51,1384	72,3457	81,8334	89,2715	105,8874
22,2	65,4769	90,5218	107,0390	114,0809	140,9965
24,7	78,3706	113,1516	137,6038	144,3238	172,4892
27,2	89,4017	131,3801	146,2812	168,8268	192,0137
29,5	101,2683	145,6008	160,4571	181,9997	210,7258
31,5	114,9826	170,7697	179,8935	206,1605	229,0645
33,2	135,1700	195,8890	197,5517	226,2011	248,8160
34,6	135,6139	199,2631	227,5338	244,3514	269,0530
35,8	147,5520	209,5628	246,5506	282,4860	288,1989

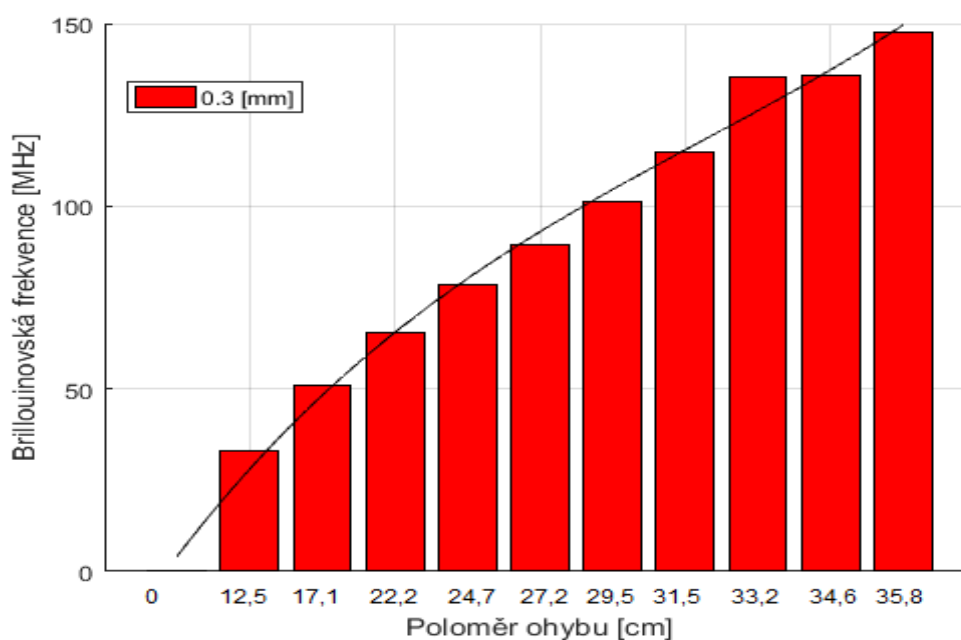


Obr. P.1: Graf vykreslený z hodnot tabulky P.1. Optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB druh lepidla: Mamut GLue, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál

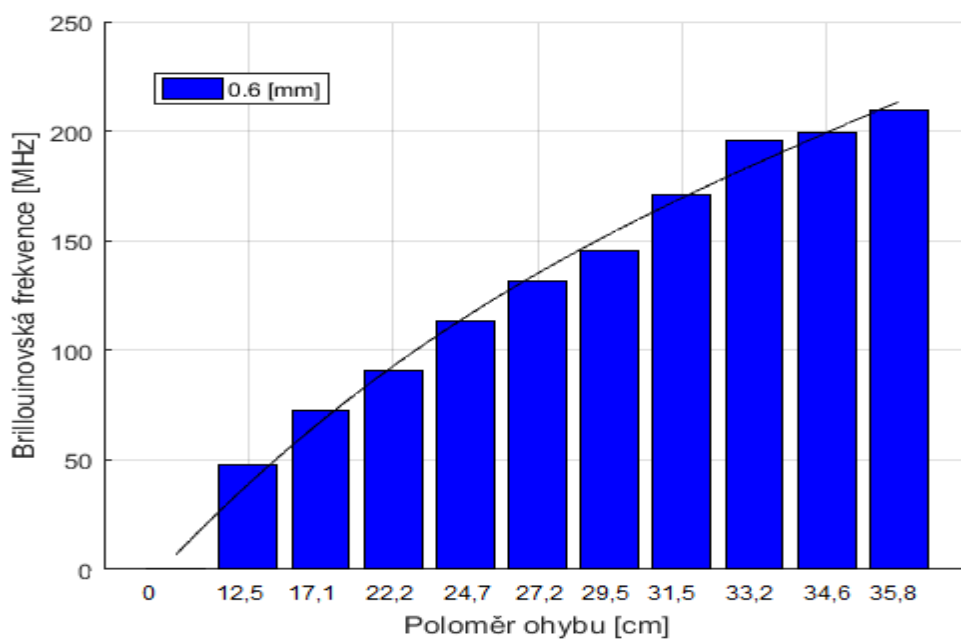
Tab. P.2: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 1 mm ovál

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3	0,0025	-0,0618	3,1511	-0,0846	0,9963
0,6	0,0029	-0,0481	3,9448	0,2235	0,9955
0,8	0,0053	-0,1721	6,1384	-0,8612	0,9931
1,0	0,0055	-0,1546	6,1098	-0,5909	0,9946
1.2	0,0006	0,0708	4,6358	-0,5849	0,9981

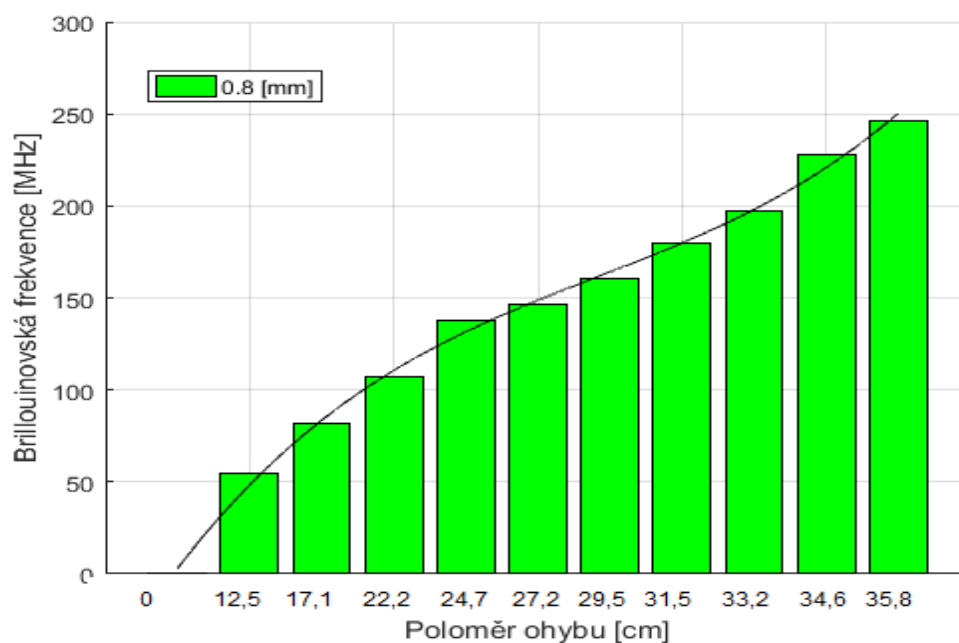


Obr. P.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál

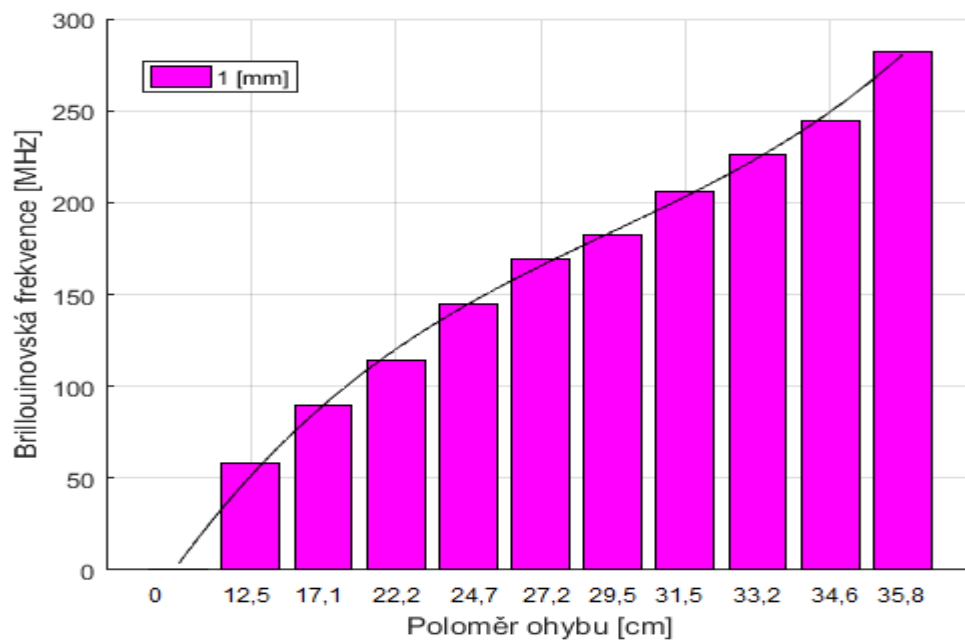


Obr. P.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

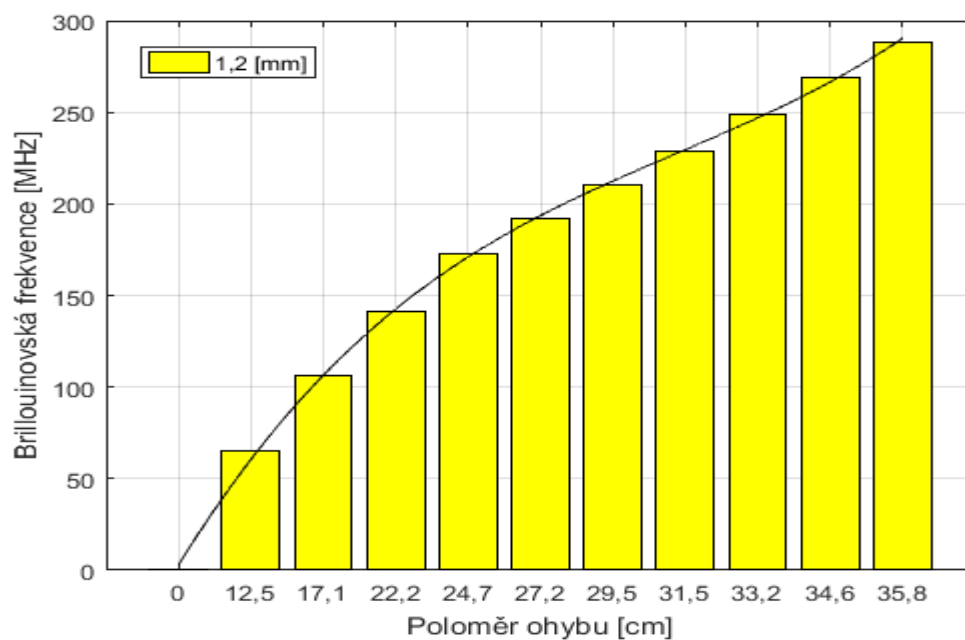


Obr. P.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál



Obr. P.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



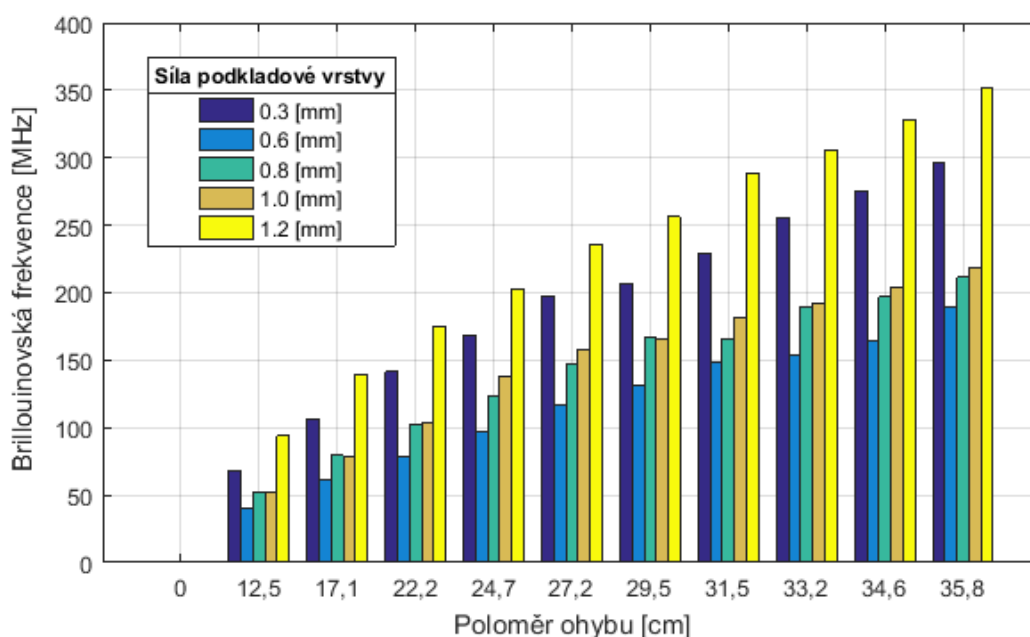
Obr. P.6: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,5 mm ovál

Příloha Q: *Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,5 mm ovál*

Tab. Q.1: *Optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB, lepidlo: Mamut Glue v tubě, krycí vrstva: 0,5 mm ovál*

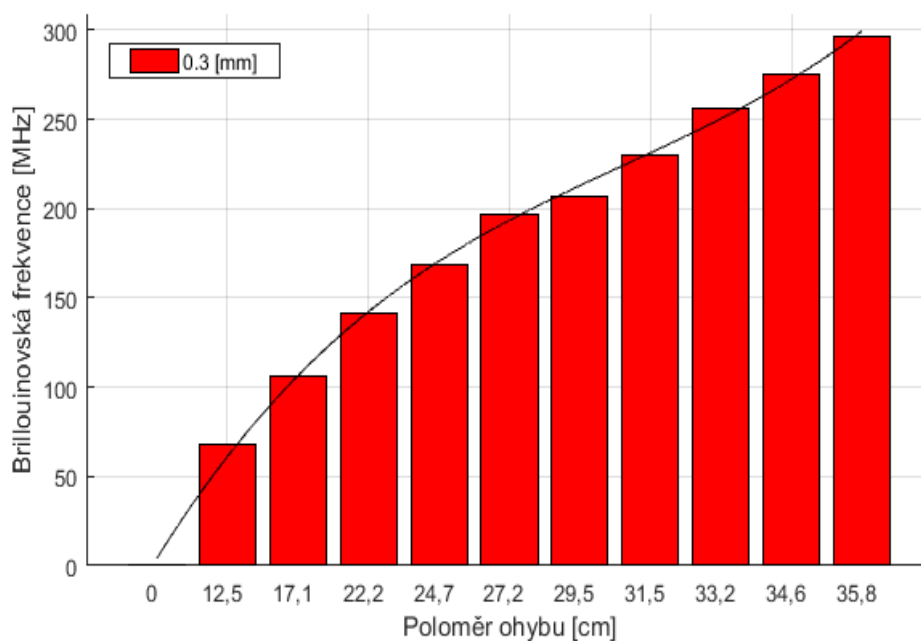
Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	67,9302	40,7162	52,4311	51,8560	93,8530
17,1	106,1430	61,6922	79,3586	77,9824	139,8621
22,2	141,2888	78,2790	101,6784	103,6448	175,0002
24,7	168,2611	97,4321	122,7784	138,5145	202,9228
27,2	197,1159	116,2596	146,7681	157,9156	235,5776
29,5	206,7079	131,3624	166,9102	166,2617	256,2423
31,5	229,6195	148,4962	166,0590	181,5066	288,6448
33,2	255,7588	153,1515	189,3535	191,7968	305,8910
34,6	275,2795	164,6347	196,8746	204,3772	328,6262
35,8	296,4258	189,3182	211,4277	218,5130	351,1977



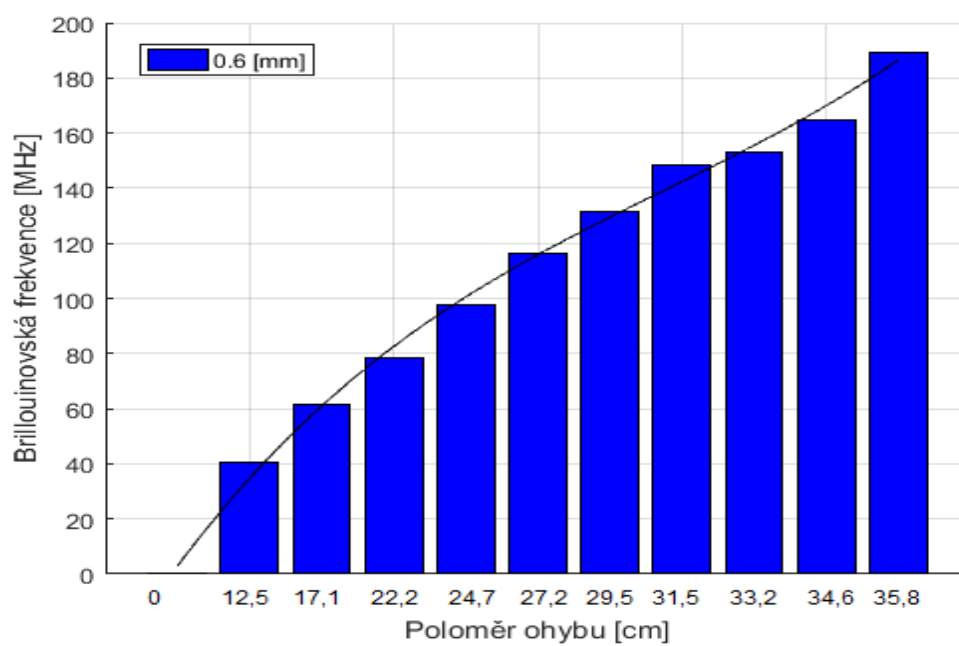
Obr. Q.1: *Graf vykreslený z hodnot tabulky Tab.Q.1. Optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB druh lepidla: Mamut GLue, tvar krycí vrstvy: 0,5 mm ovál*

Tab. Q.2: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 0,5 mm ovál

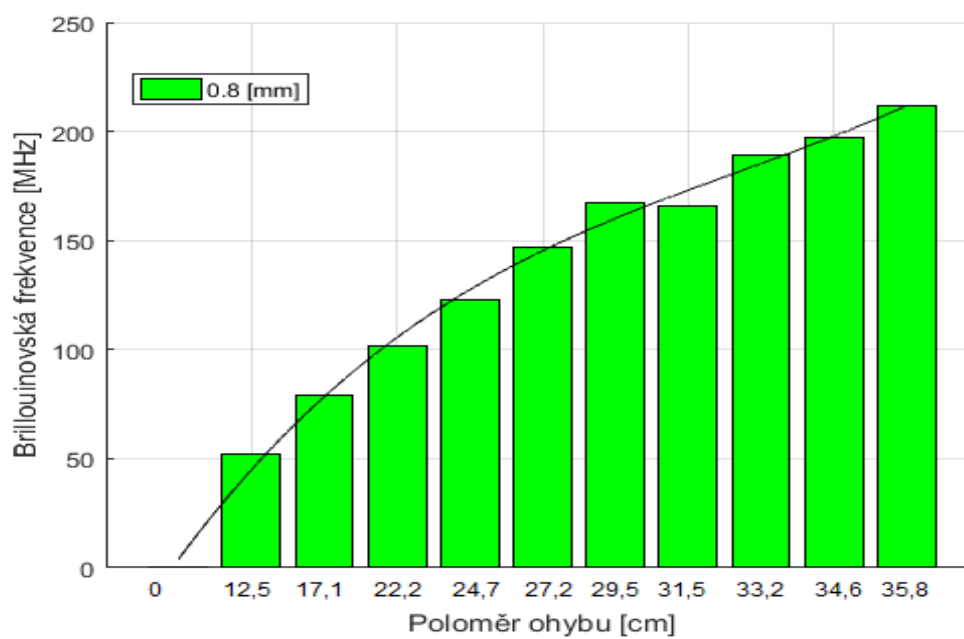
$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3	0,0026	-0,0248	5,7226	-0,6111	0,9974
0,6	0,0022	-0,0303	3,3274	-0,0067	0,9945
0,8	0,0006	0,0692	3,2870	0,1298	0,9951
1,0	-0,0021	0,1897	1,9560	0,1757	0,9951
1.2	0,0041	-0,1117	8,5590	-0,2556	0,9990



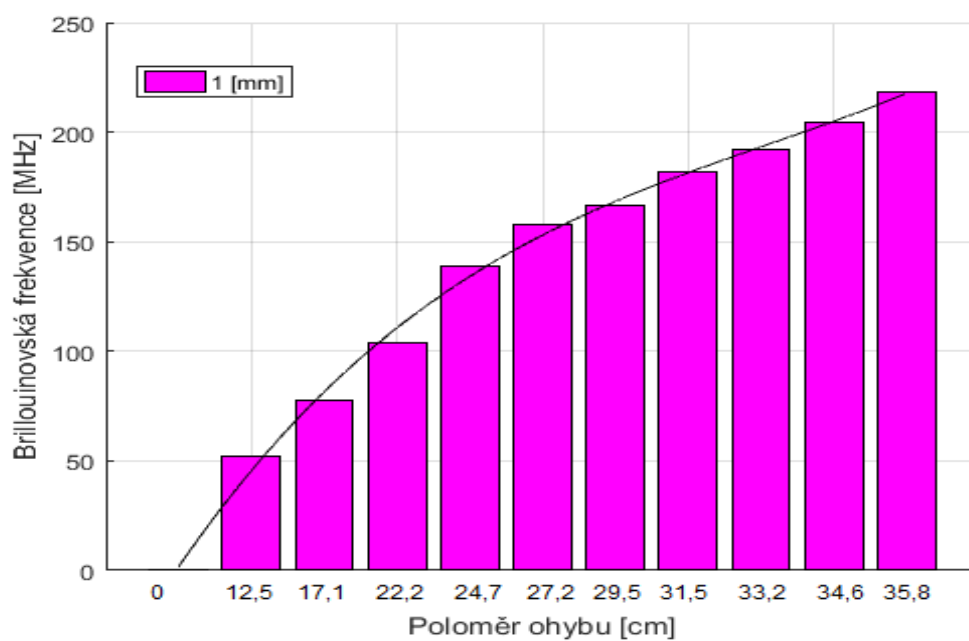
Obr. Q2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm



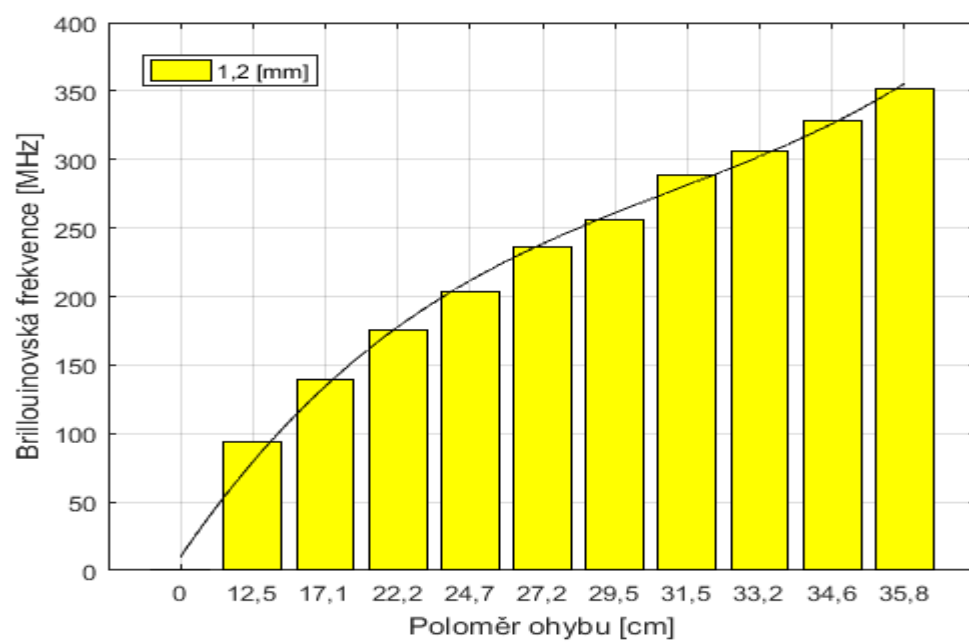
Obr. Q3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm



Obr. Q4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm



Obr. Q5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



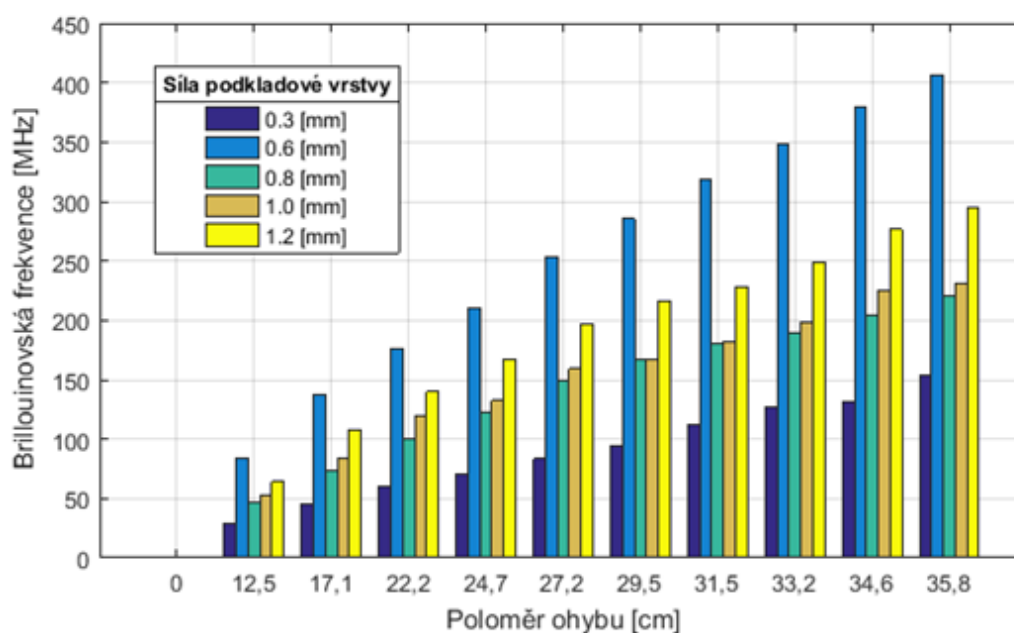
Obr. Q6: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál

Příloha R: *Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál*

Tab.R.1: *Optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB, lepidlo: Mamut Glue v tubě, krycí vrstva: 0,2 mm ovál*

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	29,1138	83,8995	46,9723	52,7220	64,1046
17,1	45,9418	137,8312	73,8139	83,3492	108,0656
22,2	60,0357	175,9715	100,2312	118,9733	139,7686
24,7	70,4308	210,0916	122,7999	132,4325	166,7080
27,2	83,2024	253,7056	149,4560	159,3590	196,9476
29,5	94,0228	285,1582	166,9979	167,6278	215,6887
31,5	111,9056	319,0537	180,0475	182,2615	227,8442
33,2	126,9903	347,8532	189,1670	198,3953	249,4822
34,6	131,6166	378,8443	204,7544	224,4282	276,6213
35,8	154,2015	406,2738	219,9297	230,6919	295,4745

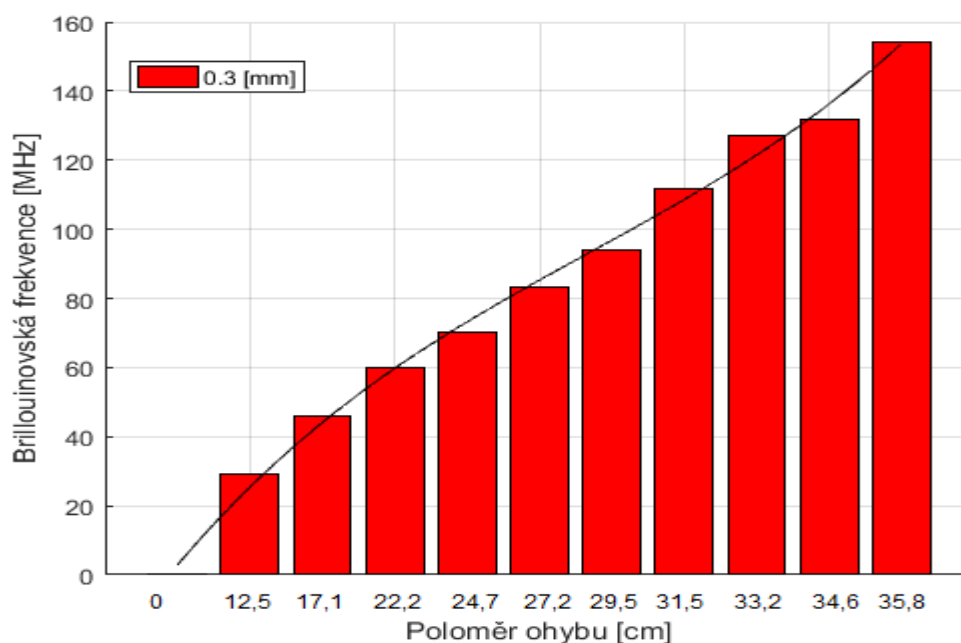


Obr. R.1: *Graf vykreslený z hodnot tabulky Tab. R.1 Optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB druh lepidla: Mamut GLue, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál*

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál

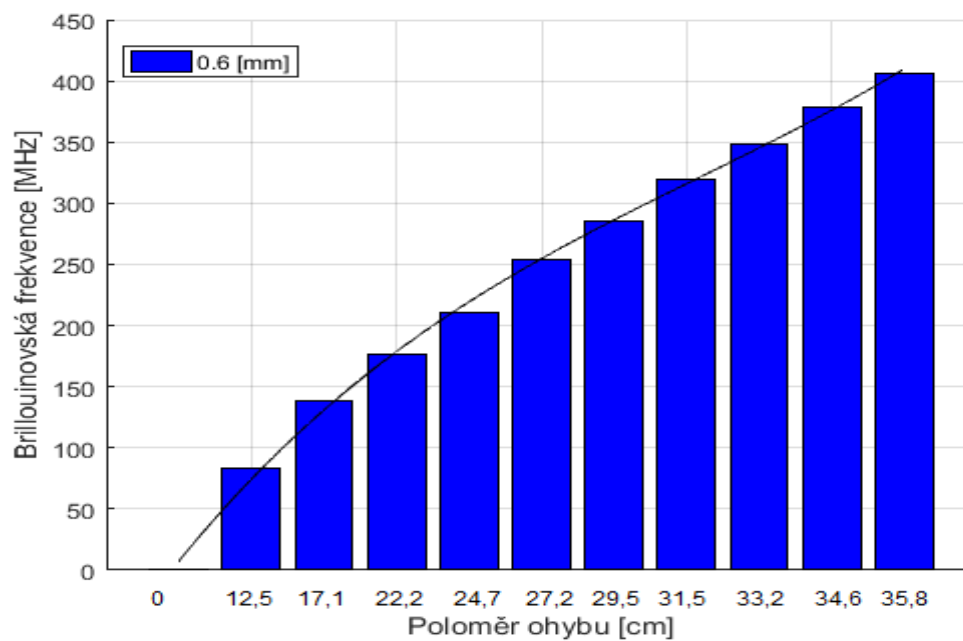
Tab. R2: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 0,2 mm ovál

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3	0,0043	-0,1400	3,6690	-0,3504	0,9960
0,6	0,0049	-0,0571	7,0670	-0,3231	0,9988
0,8	-0,0009	0,1466	1,9680	0,2055	0,9974
1,0	0,0008	0,0440	3,8680	-0,5580	0,9959
1.2	0,0015	0,0333	4,9800	-0,6944	0,9964

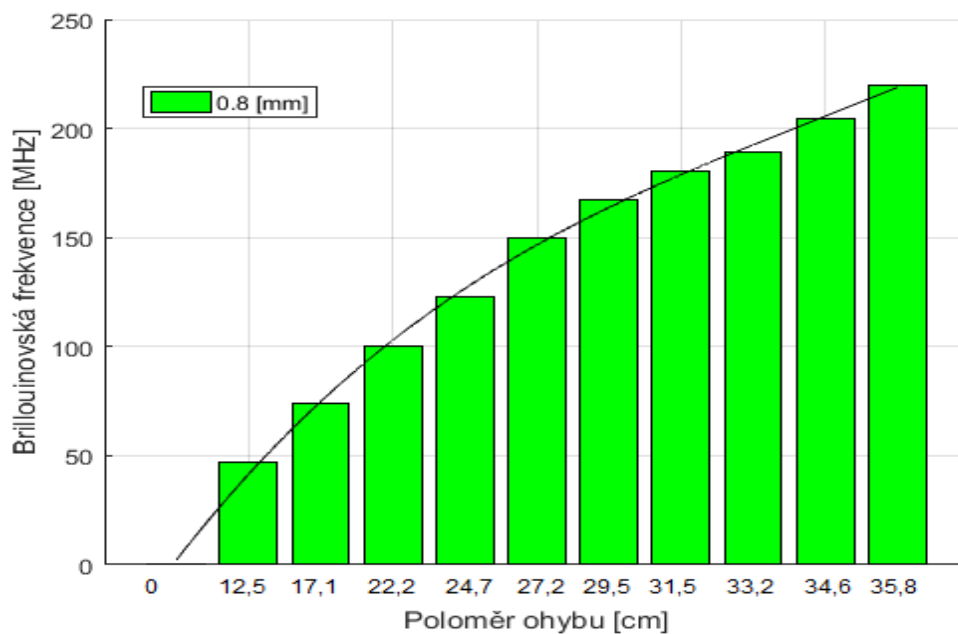


Obr. R.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál

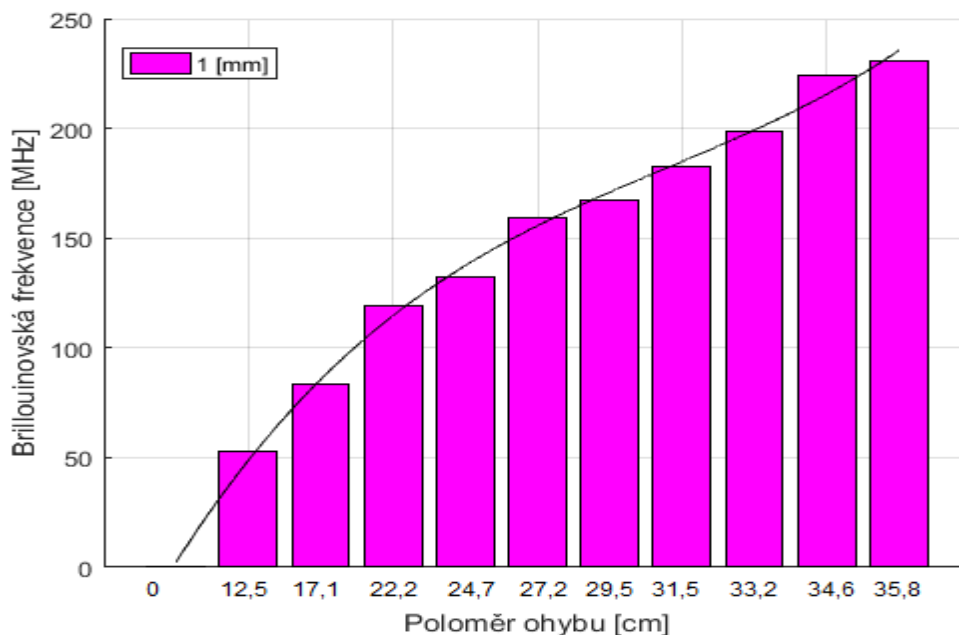


Obr. R3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

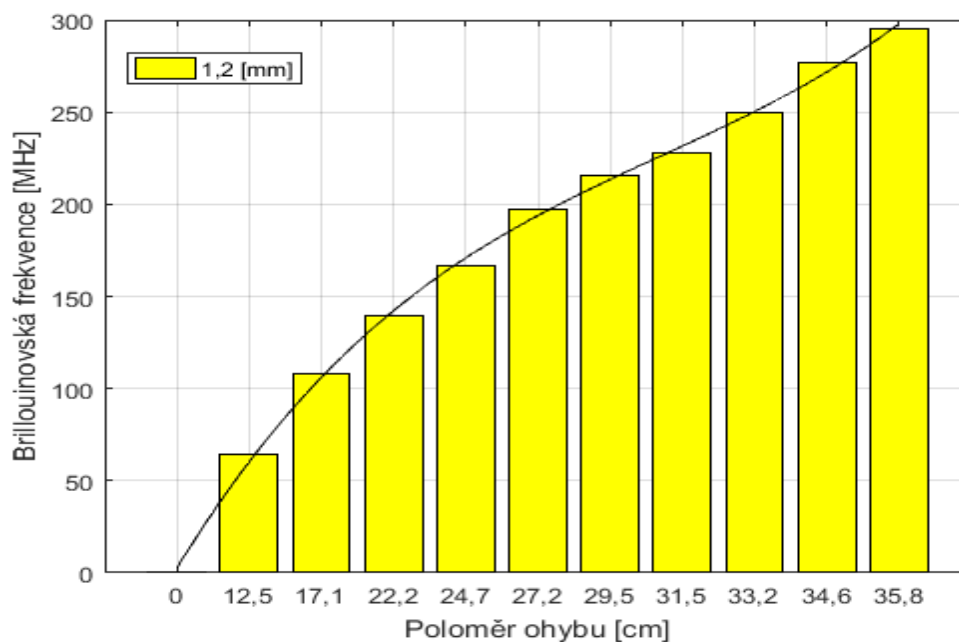


Obr. R4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál



Obr. R.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



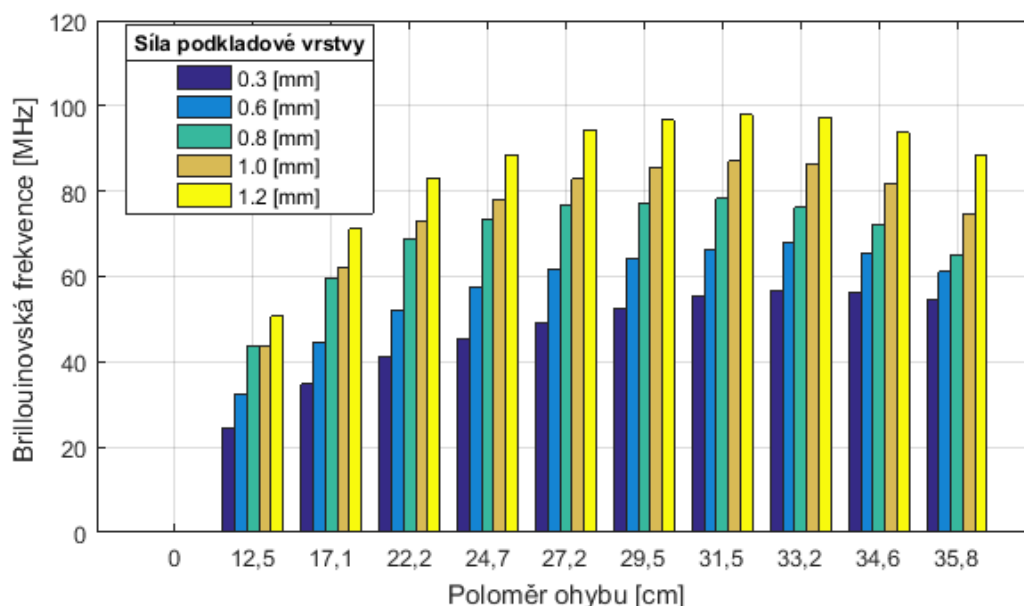
Obr. R.6: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník

Příloha S: *Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník*

Tab. S.1: *Optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB, lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: trojúhelník*

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	24,6325	32,3319	43,6597	43,6587	50,6420
17,1	34,7443	44,6367	59,7477	61,9316	71,1594
22,2	41,2898	52,0291	68,7947	72,8426	82,9830
24,7	45,5022	57,4851	73,4129	78,1646	88,6207
27,2	49,2005	61,5869	76,7350	82,7985	94,4877
29,5	52,2976	64,1618	77,2824	85,6776	96,6620
31,5	55,3889	66,3128	78,2151	86,9956	97,9514
33,2	56,8414	67,7409	76,2496	86,4539	97,2366
34,6	56,4156	65,3210	72,1898	81,8152	93,7519
35,8	54,3957	61,1420	65,2156	74,7204	88,6106

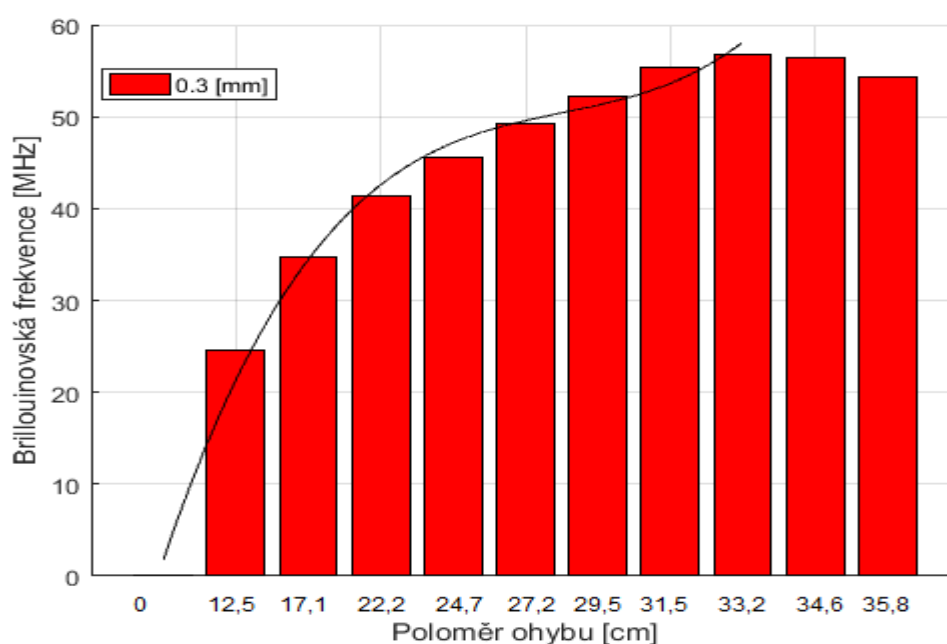


Obr. S.1: *Graf vykreslený z hodnot tabulky Tab.S.1. Optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB druh lepidla: Hřebíky a šrouby v tubě, tvar krycí vrstvy: trojúhelník*

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník

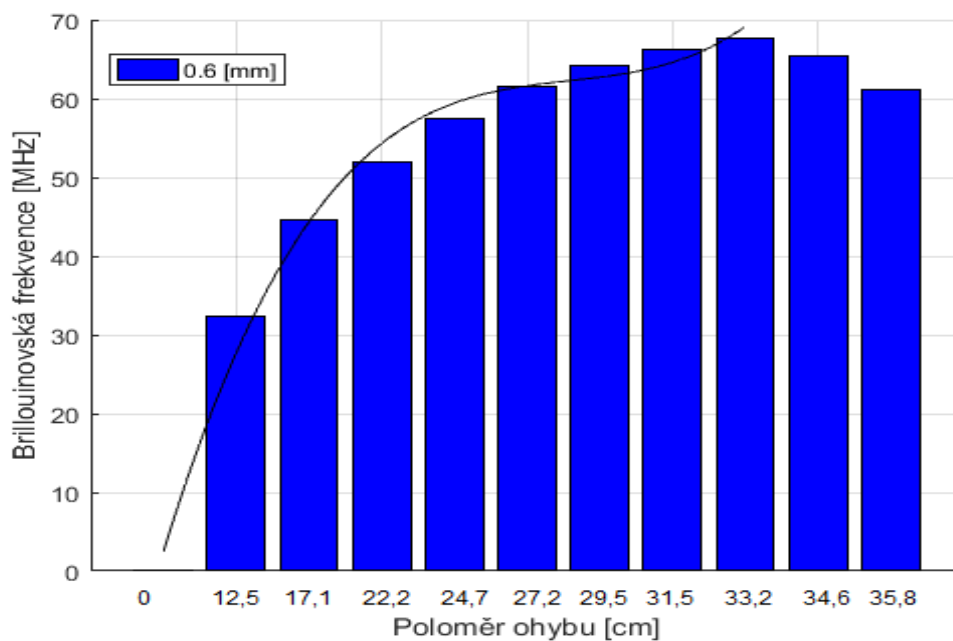
Tab. S.2: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu trojúhelník

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3	-0,0009	0,0262	1,7670	0,0951	0,9960
0,6	-0,0017	0,0489	2,1780	0,1834	0,9938
0,8	-0,0028	0,0685	3,0400	0,1557	0,9950
1,0	-0,0033	0,1062	0,1062	0,1879	0,9939
1,2	-0,0029	0,0757	3,5800	0,0954	0,9972

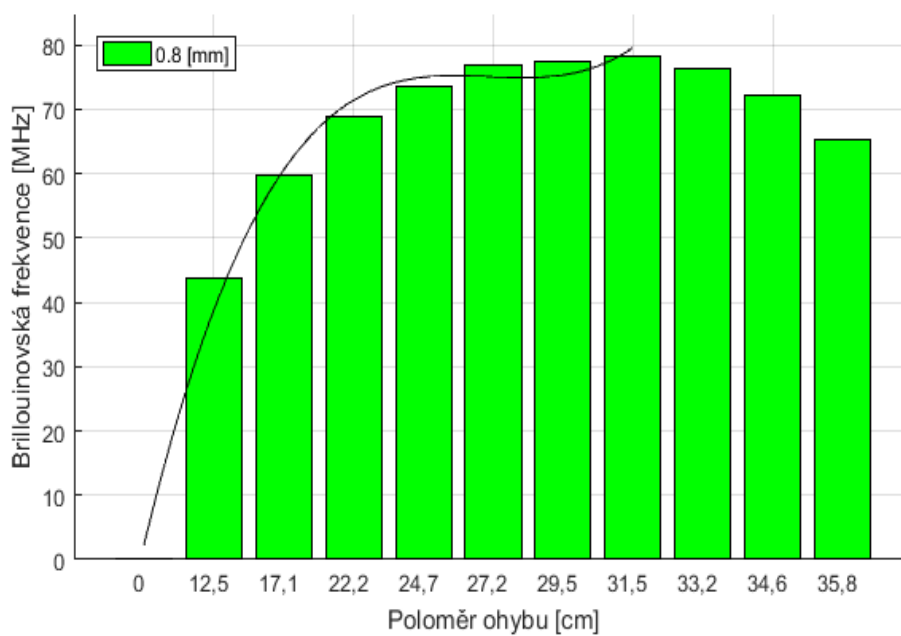


Obr. S.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník

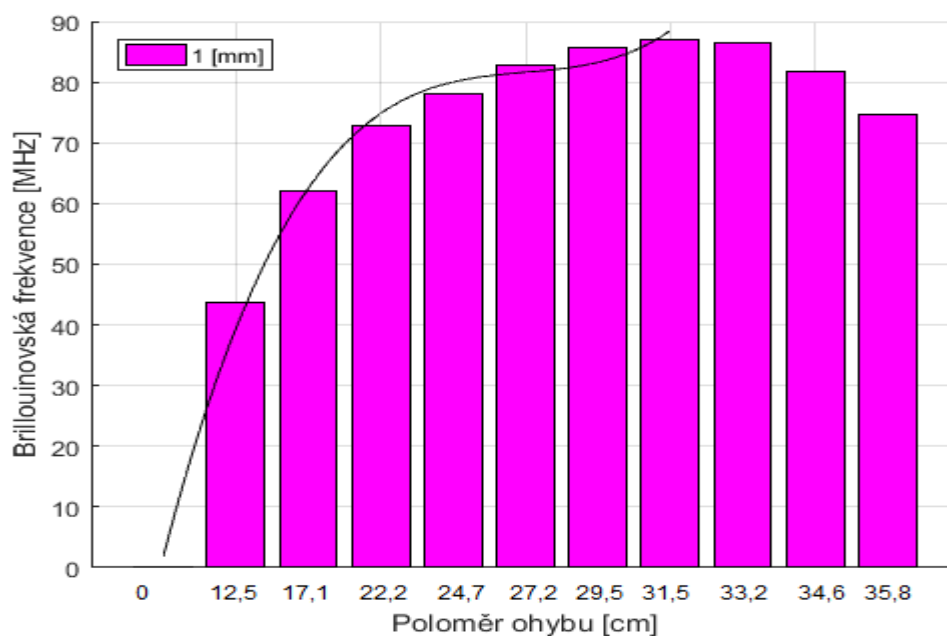


Obr. S.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

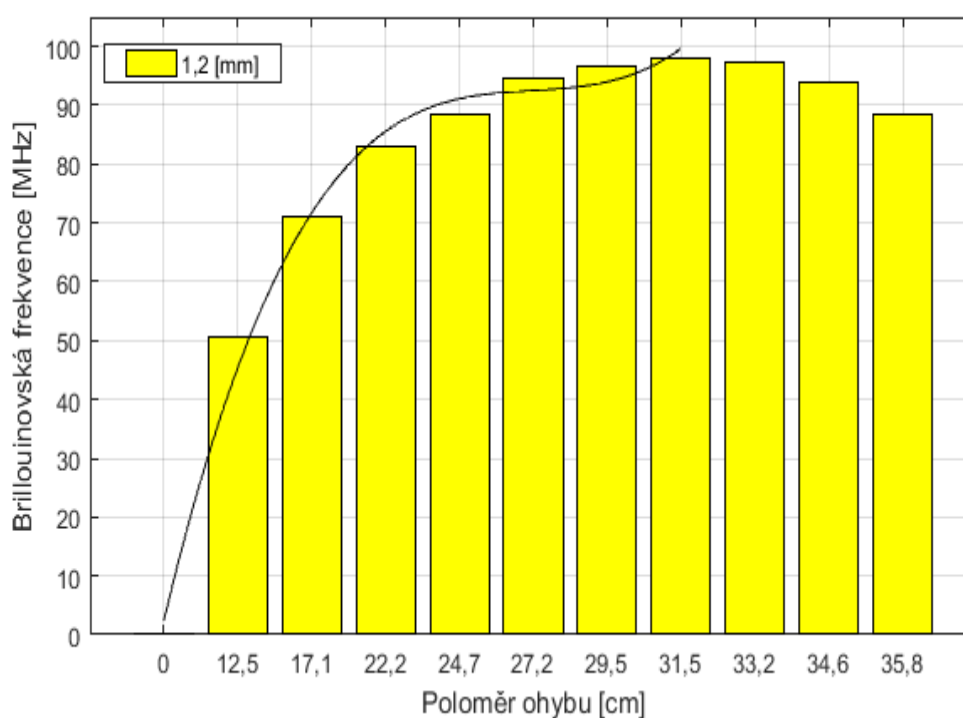


Obr. S.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník



Obr. S.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 m



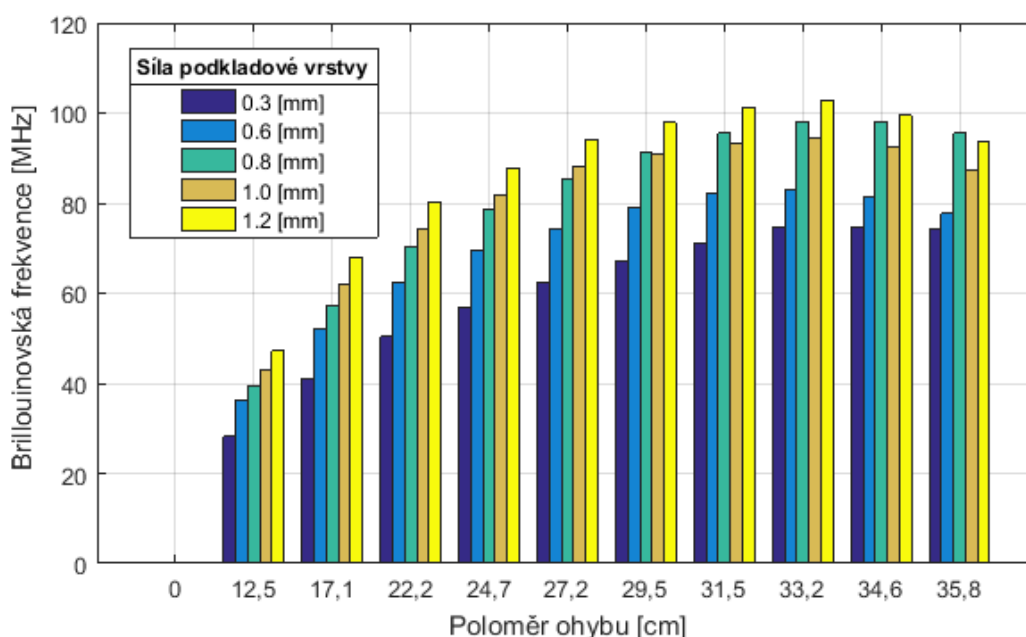
Obr. S.6: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál

Příloha T: *Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál*

Tab. T.1: *Optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB, lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: 1 mm ovál*

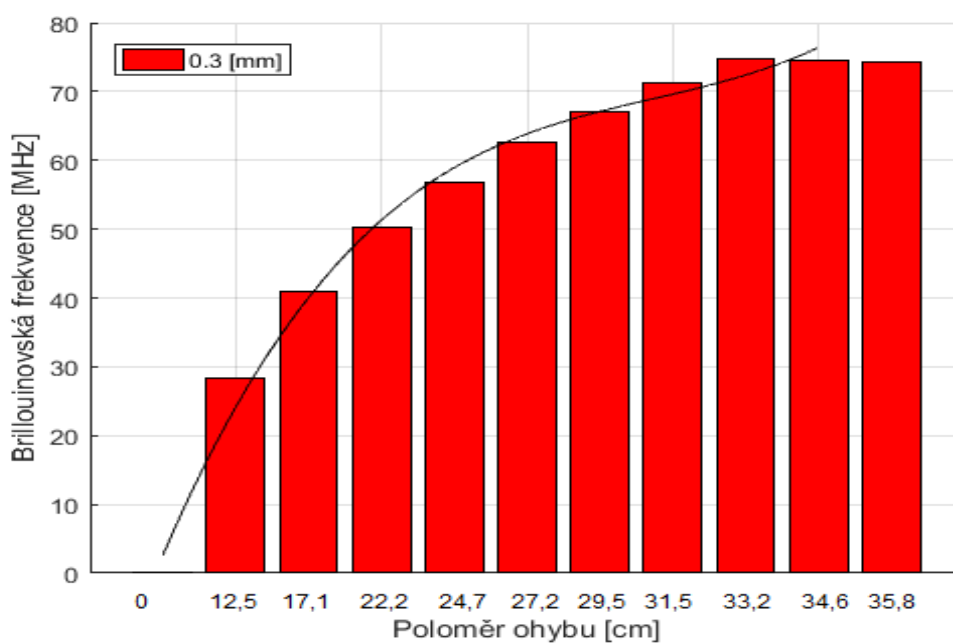
Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	28,2602	36,2906	39,4554	42,9802	47,1568
17,1	40,9913	52,0644	57,2987	61,9183	68,0742
22,2	50,3674	62,3708	70,4050	74,3189	80,1940
24,7	56,8781	69,5214	78,5494	81,7938	87,6651
27,2	62,5439	74,3098	85,4526	88,2459	94,0514
29,5	66,9947	78,9390	91,0964	91,0616	97,8856
31,5	71,1751	82,0198	95,4666	93,2050	101,3365
33,2	74,6665	83,1618	98,1398	94,6331	102,8461
34,6	74,5449	81,4242	98,0859	92,3643	99,5736
35,8	74,3542	77,7845	95,5114	87,4052	93,6399



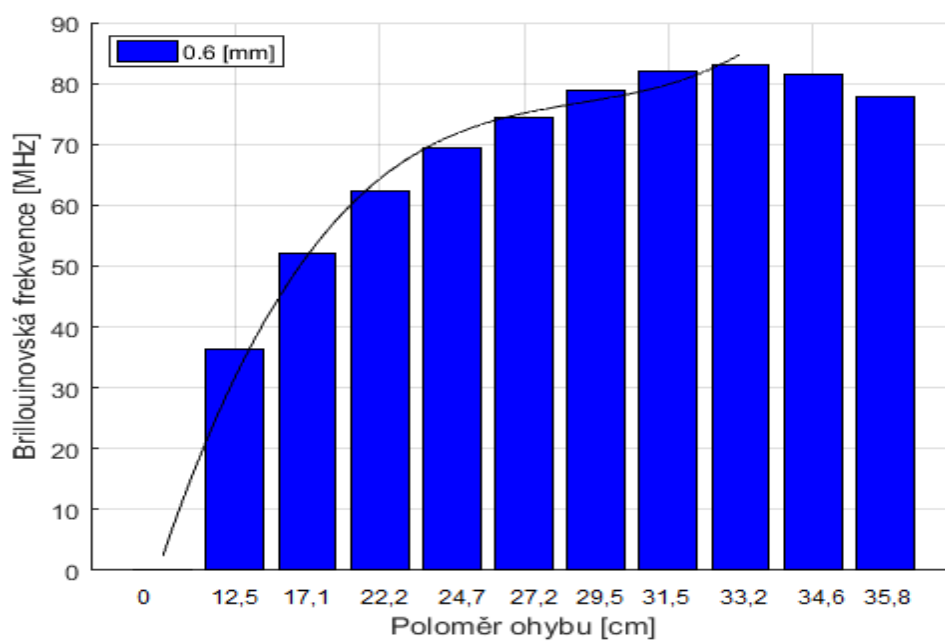
Obr.T.1: *Graf vykreslený z hodnot tabulky Tab. T.1. Optické vlákno s ID cívky 004354651C2RCB druh lepidla: Hřebíky a šrouby v tubě, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál*

Tab. T.2: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 1 mm ovál

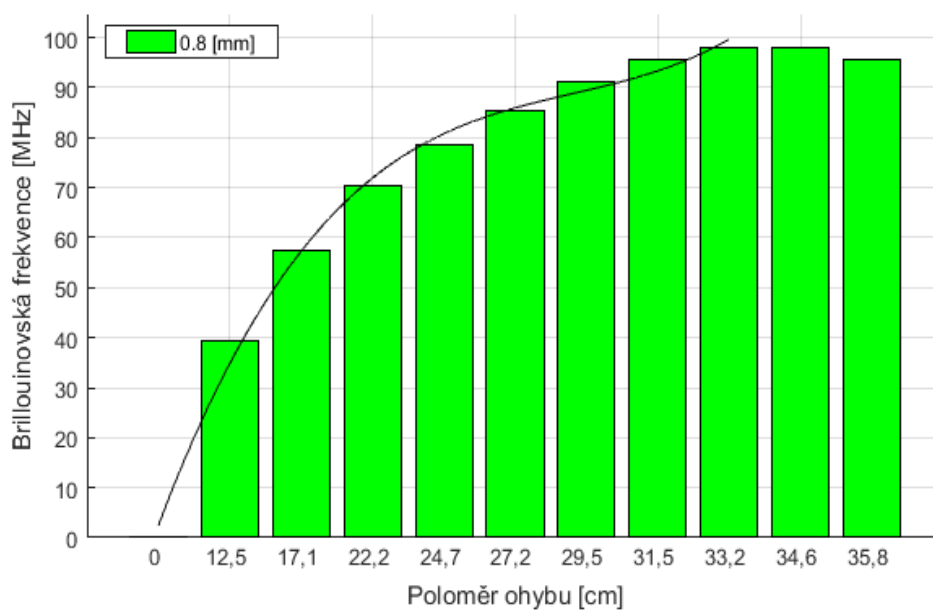
$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R ²
0,3	-0,0011	0,0460	1,8430	0,0868	0,9980
0,6	-0,0023	0,0827	2,1870	0,1598	0,9961
0,8	-0,0022	0,0867	2,3920	0,1239	0,9979
1,0	-0,0030	0,1071	2,5590	0,1251	0,9971
1.2	-0,0030	0,0974	3,0130	0,1562	0,9952



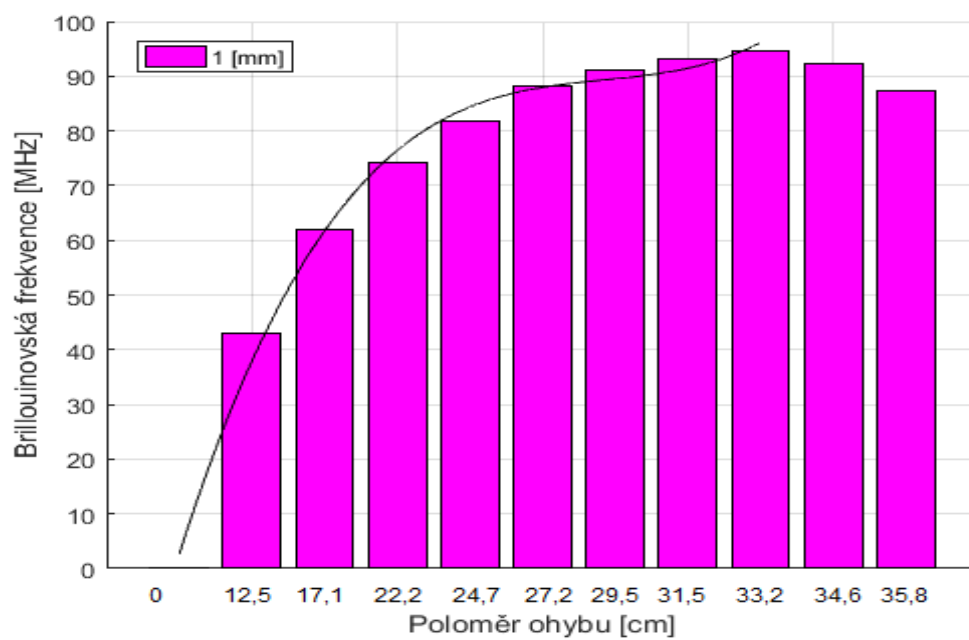
Obr. T.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm



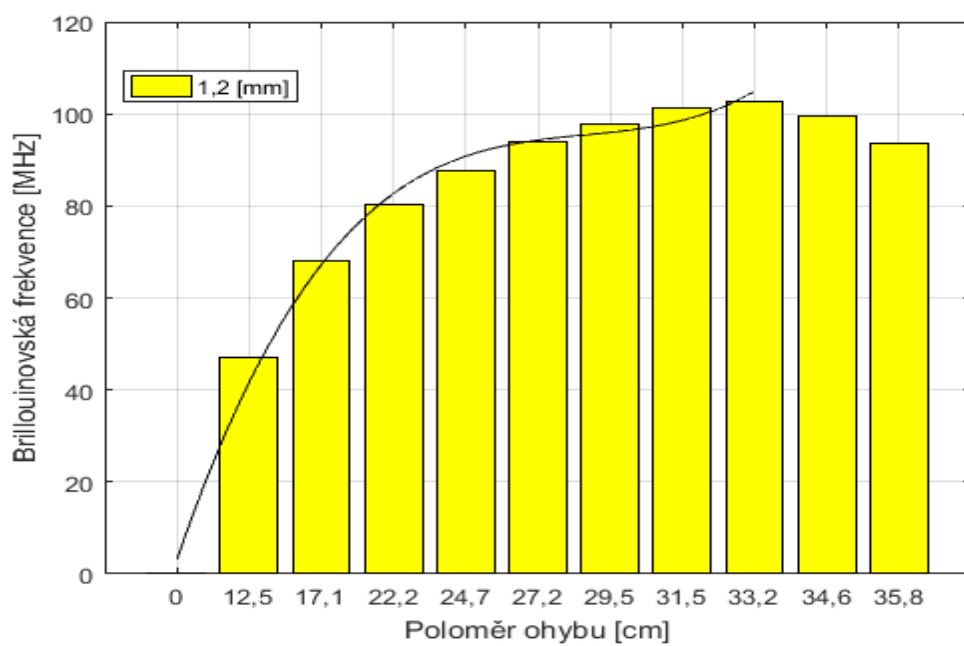
Obr. T.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm



Obr. T.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm



Obr. T.5 Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



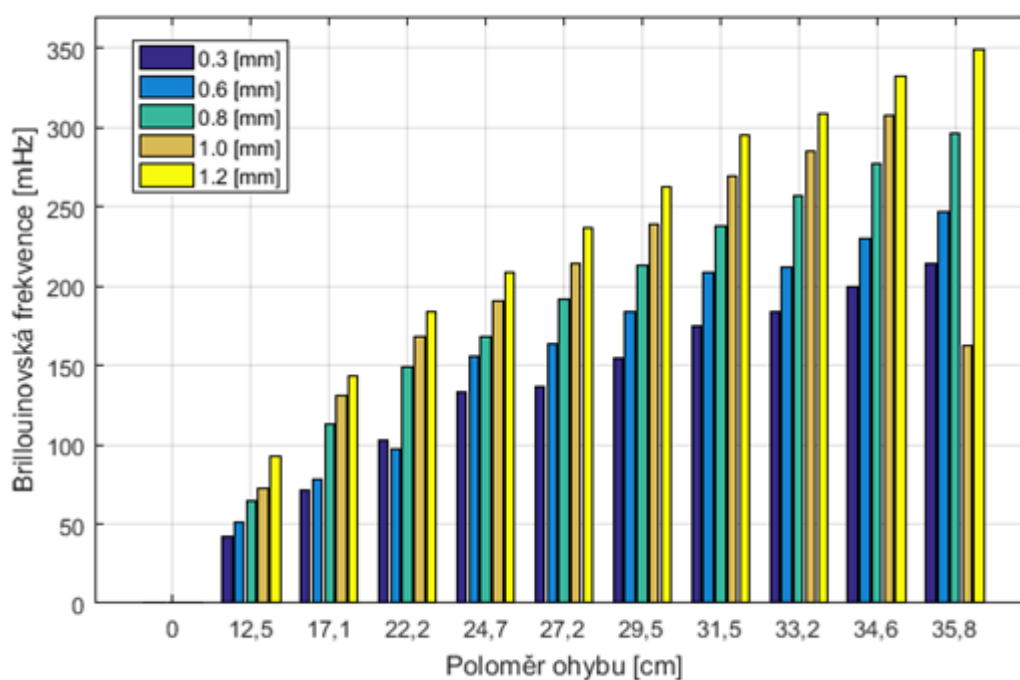
Obr. T.6 Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník

Příloha U: *Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník*

Tab. U.1: *Optické vlákno s ID cívky 516220, lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: trojúhelník*

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	35,872	50,1657	51,8746	53,8454	72,4506
17,1	53,3791	76,0064	79,7482	88,5425	114,3212
22,2	67,8024	100,3911	113,8015	121,5172	148,6454
24,7	80,7991	121,6586	136,6954	137,3262	177,4893
27,2	92,3597	142,7081	154,0093	158,2327	199,4824
29,5	107,9278	153,9025	163,9619	177,2566	225,8172
31,5	124,2514	170,3386	183,2109	195,4317	262,0602
33,2	142,2911	184,5875	199,7037	211,6642	283,0911
34,6	152,5822	200,2234	223,3644	228,1572	300,8933
35,8	156,4212	215,8432	240,6154	244,8421	319,9043

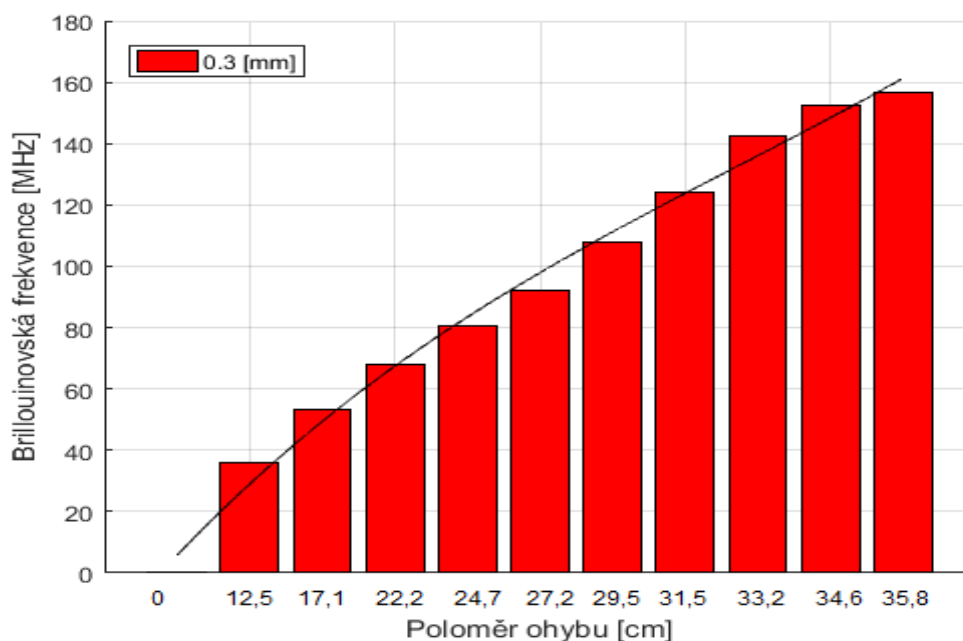


Obr. U.1: *Graf vykreslený z hodnot tabulky Tab. U.1. Optické vlákno s ID cívky 516220 druh lepidla: Mamut Glue, tvar krycí vrstvy: trojúhelník*

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník

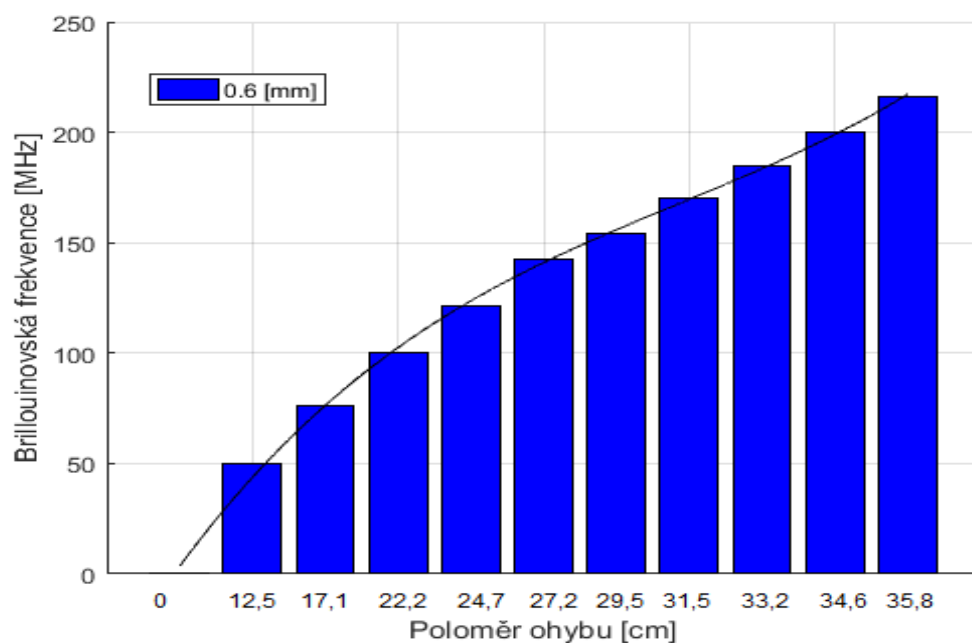
Tab. U.2: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu trojúhelník

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3	0,0036	-0,1051	3,6977	0,0412	0,9971
0,6	0,0017	-0,0022	3,9063	-0,1876	0,9985
0,8	0,0022	-0,0151	4,3391	-0,6887	0,9959
1,0	0,0013	-0,0244	4,1833	-0,5345	0,9993
1,2	0,0036	-0,0482	6,1315	-0,2291	0,9988

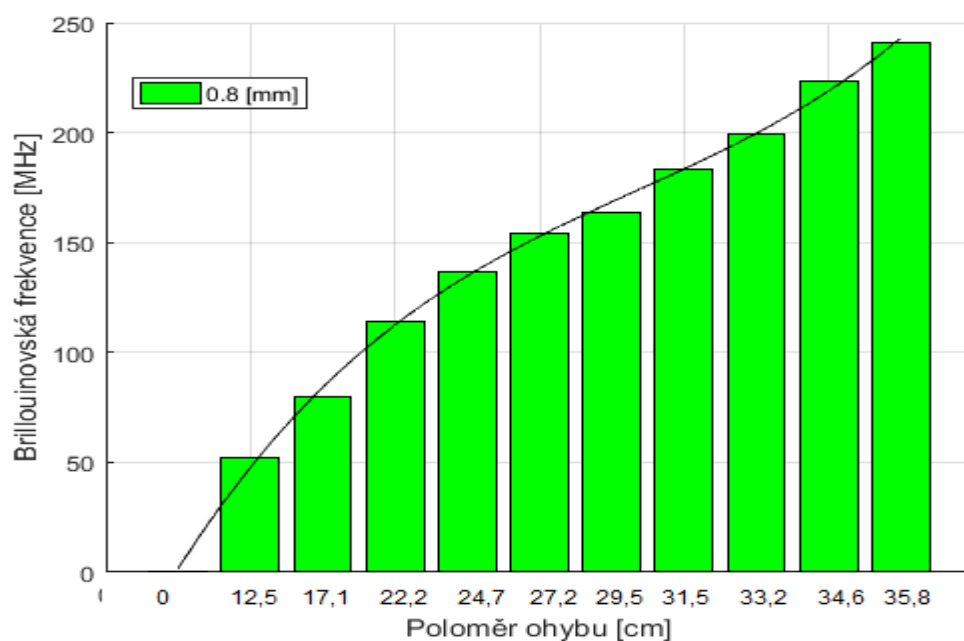


Obr. U.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník

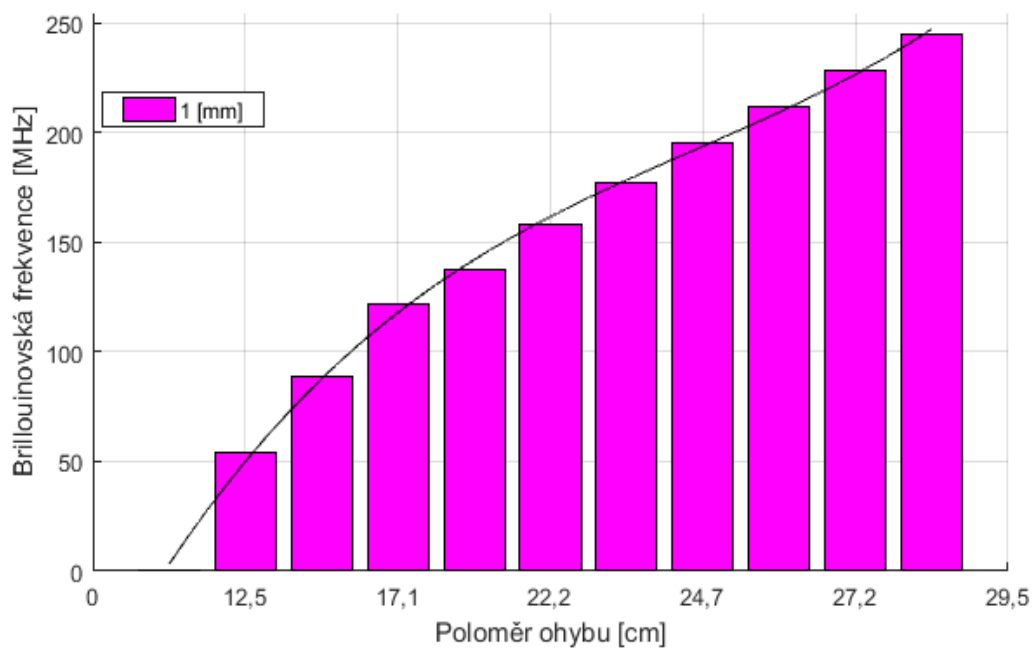


Obr. U.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

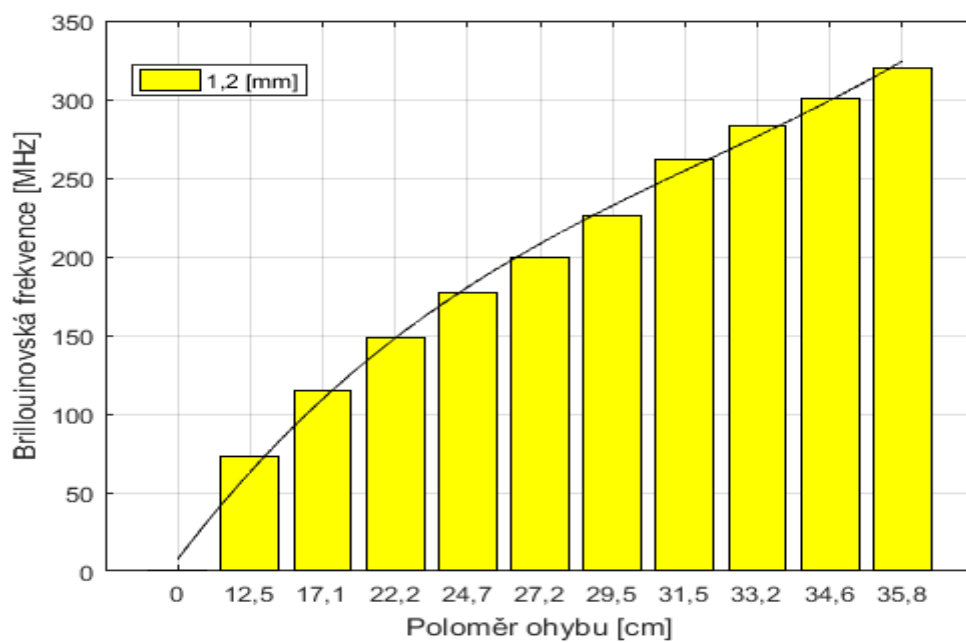


Obr. U.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník



Obr. U.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



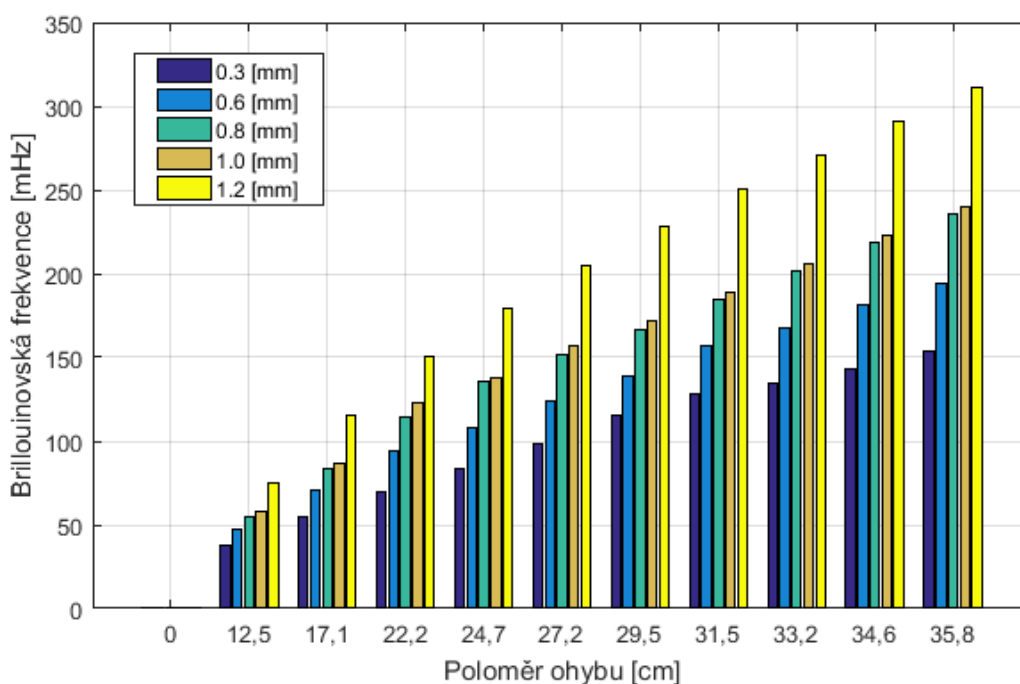
Obr. U.6: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál

Příloha V: *Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál*

Tab. V.1: *Optické vlákno s ID cívky 516220, lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 1 mm ovál*

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	37,312	47,5512	55,0361	57,5309	75,1376
17,1	54,4992	70,8161	83,0998	86,8893	115,9153
22,2	69,1633	94,1997	114,7685	122,4446	151,0539
24,7	83,6129	108,2449	135,8466	137,9619	178,7257
27,2	98,3043	124,4426	151,4864	157,1593	204,2708
29,5	115,0837	139,2622	166,7109	171,4072	227,8395
31,5	127,9287	156,4159	184,1531	189,3021	250,2146
33,2	134,8867	167,7933	201,4952	206,3532	270,9991
34,6	142,6363	181,0662	218,5044	223,1503	291,4748
35,8	154,1629	194,5848	235,7349	240,0031	310,7696

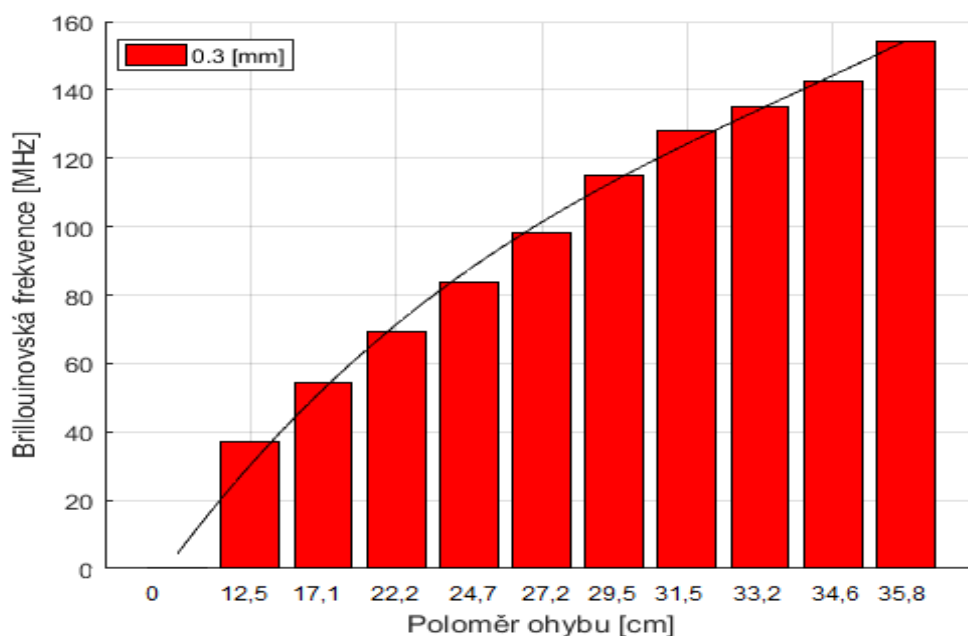


Obr. V.1: *Graf vykreslený z hodnot tabulky Tab. V. Optické vlákno s ID cívky 516220, druh lepidla: Mamut Glue, tvar krycí vrstvy: 1mm ovál*

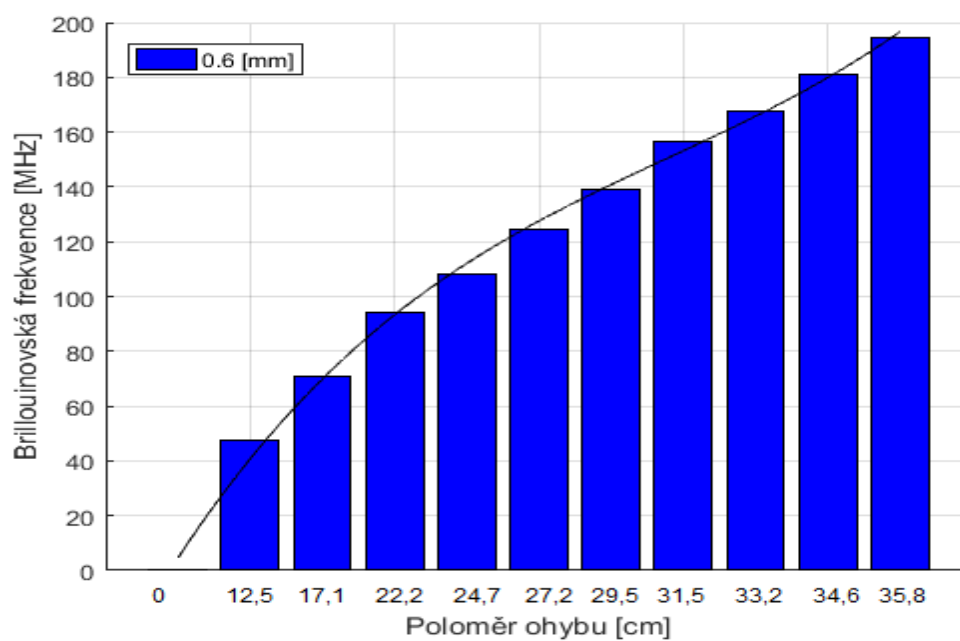
Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál

Tab. V.2: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 1 mm ovál

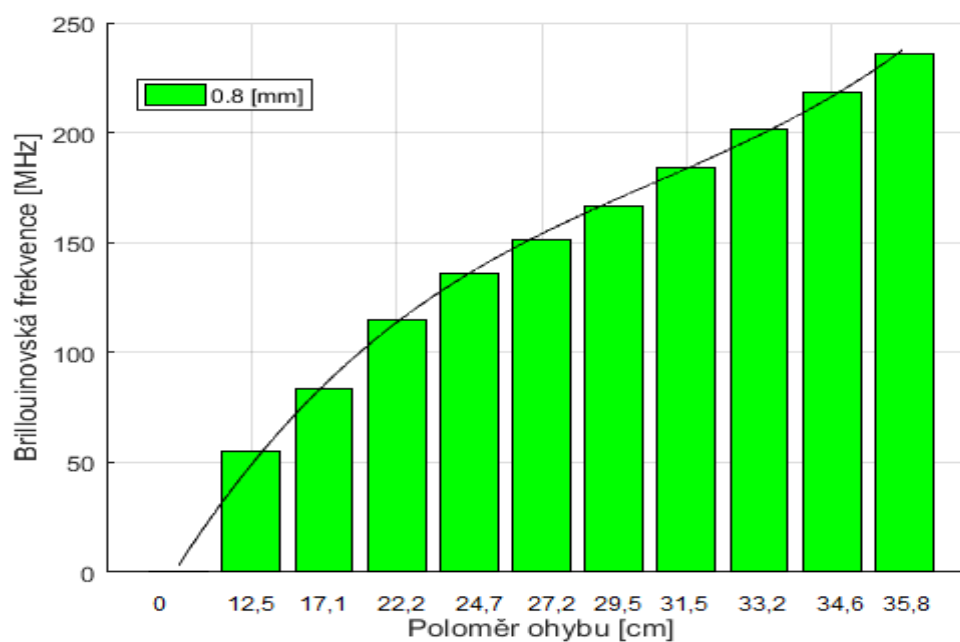
$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R ²
0,3	0,0013	-0,0033	2,7239	0,2666	0,9974
0,6	0,0023	-0,0507	4,2238	-0,1871	0,9996
0,8	0,0021	-0,0233	4,6291	-0,4762	0,9985
1,0	0,0019	-0,0189	4,8447	-0,5419	0,9985
1.2	0,0024	-0,0129	6,0733	-0,3091	0,9994



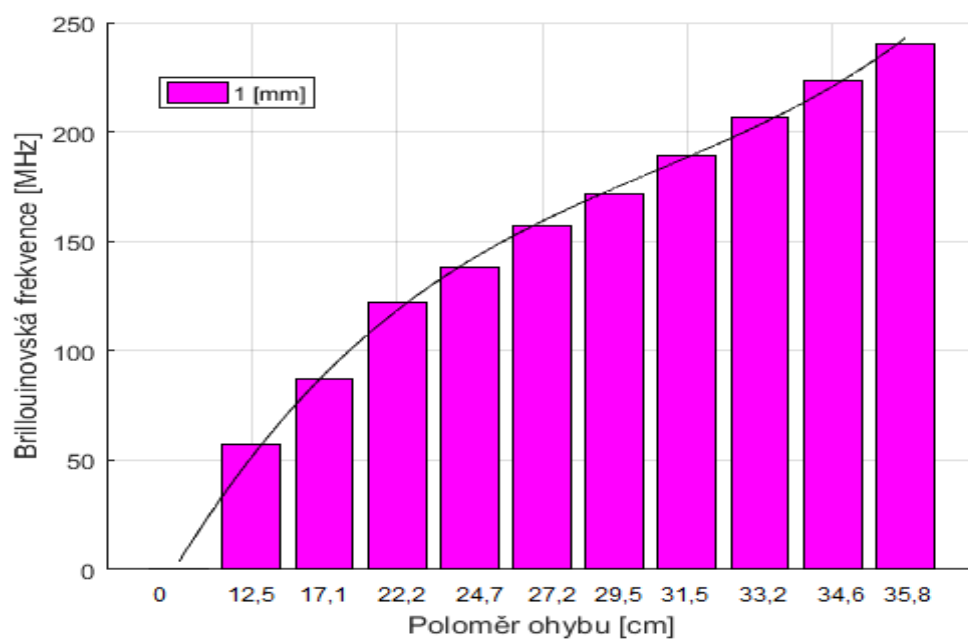
Obr. V.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm



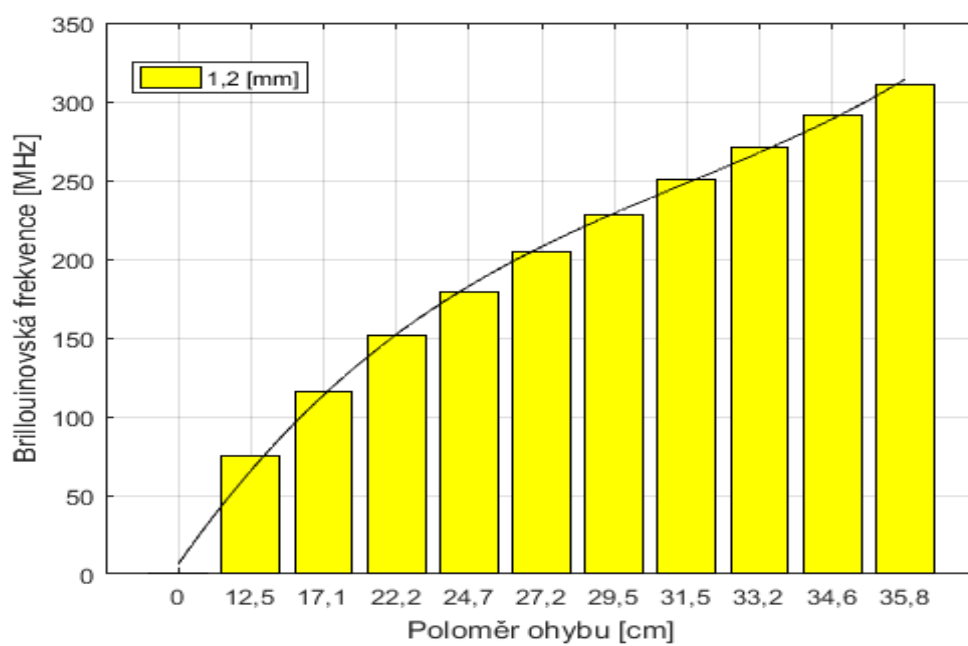
Obr. V.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm



Obr. V.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm



Obr. V.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



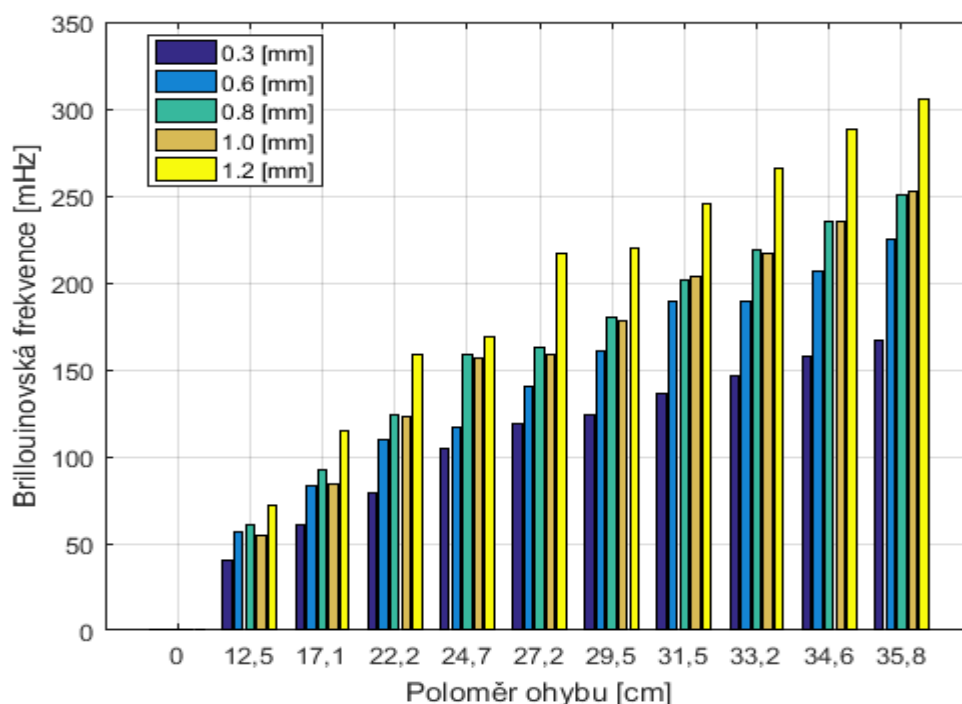
Obr. V.6: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,5 mm ovál

Příloha W: *Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,5 mm ovál*

Tab. W.1: *Optické vlákno s ID cívky 516220, lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,5 mm ovál*

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	40,1941	56,3397	60,3971	55,0394	71,6252
17,1	60,9789	83,6639	92,4578	84,6429	114,6116
22,2	79,2471	110,1942	123,9848	123,4107	158,5151
24,7	104,2461	116,4372	158,3042	156,3516	169,1365
27,2	119,3132	140,7208	162,6577	158,9441	217,2384
29,5	124,0082	160,7203	179,8291	177,8865	219,5902
31,5	135,7261	189,6721	201,0446	203,5785	245,5306
33,2	146,4357	189,6434	218,5761	216,7139	266,1114
34,6	157,2609	206,5544	234,9648	235,1522	288,2371
35,8	166,8949	225,0218	250,4501	252,5331	305,3201

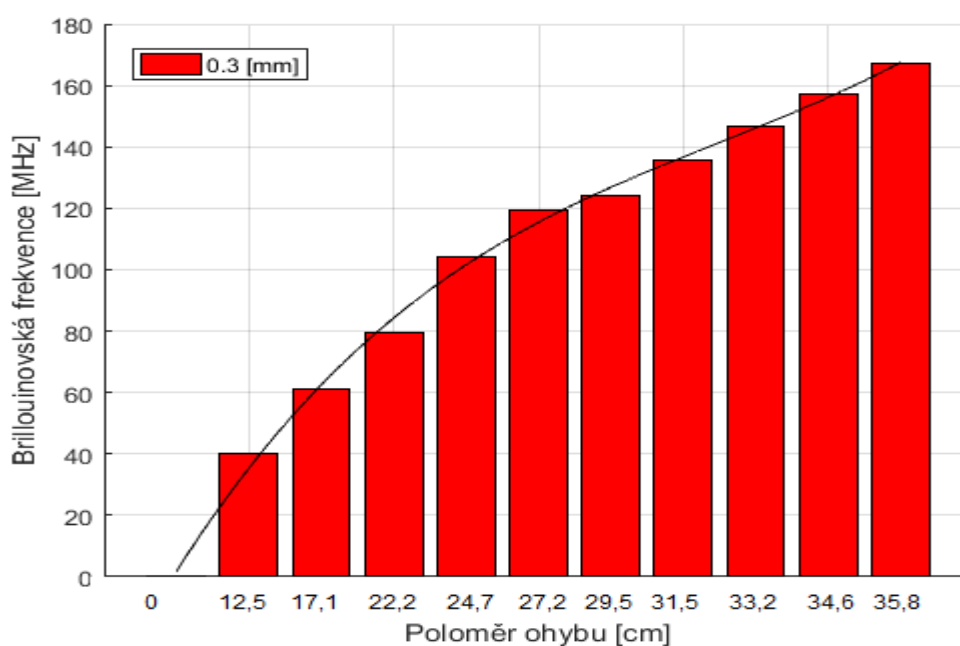


Obr. W.1: *Graf vykreslený z hodnot tabulky Tab.W.1. Optické vlákno s ID cívky 516220, druh lepidla: Mamut Glue, tvar krycí vrstvy: 0,5 mm ovál*

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,5 mm ovál

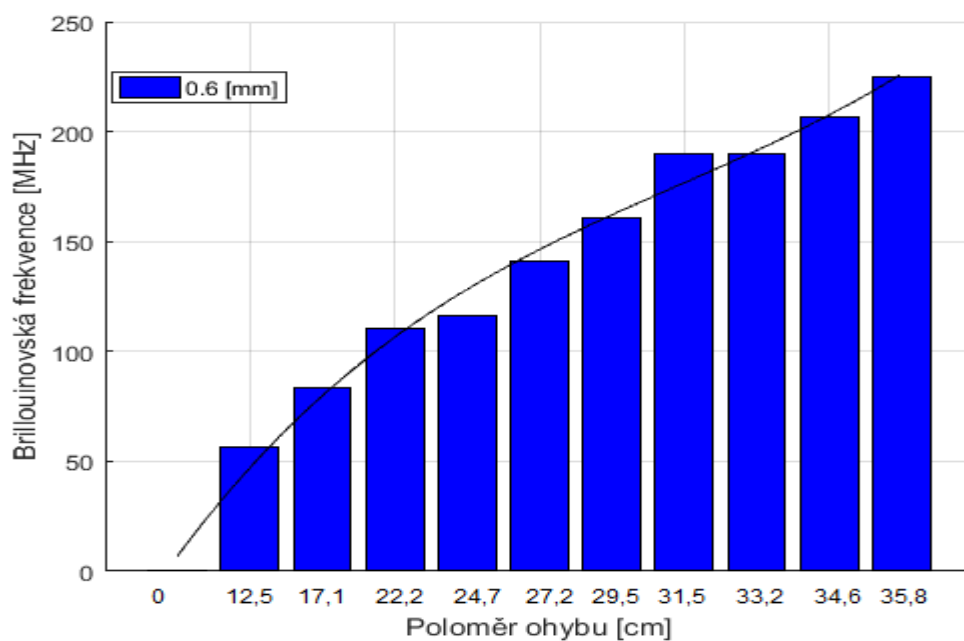
Tab. W.2: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 0,5 mm ovál

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3	-0,0006	0,0911	2,1615	-0,0099	0,9953
0,6	0,0035	-0,0989	5,3553	-0,0585	0,9948
0,8	0,0011	0,0219	4,6717	-0,0543	0,9959
1,0	0,0004	0,0805	3,5846	-0,5592	0,9951
1.2	0,0012	0,0525	5,3388	-0,5973	0,9952

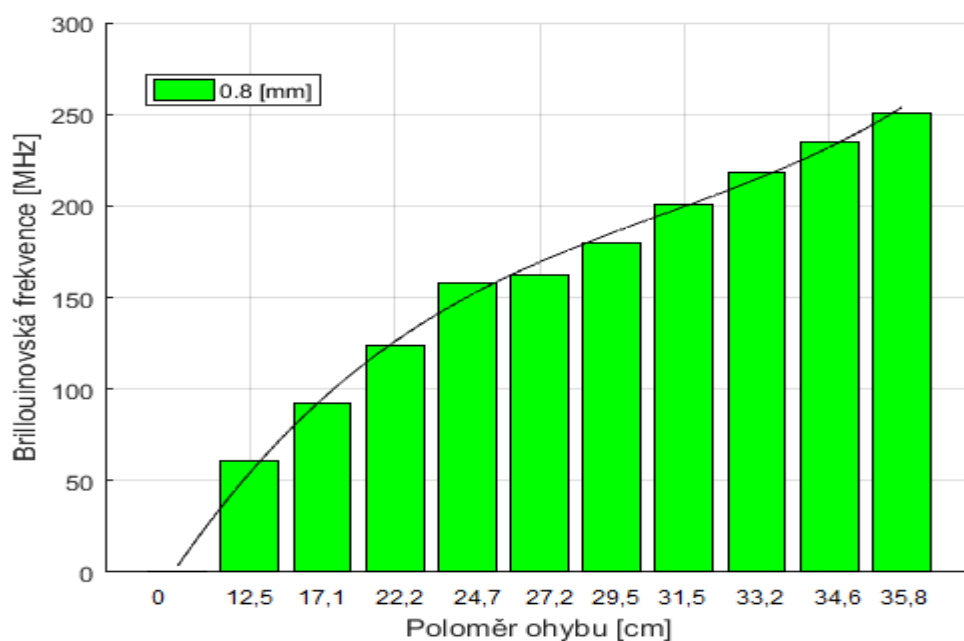


Obr. W.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,5 mm ovál

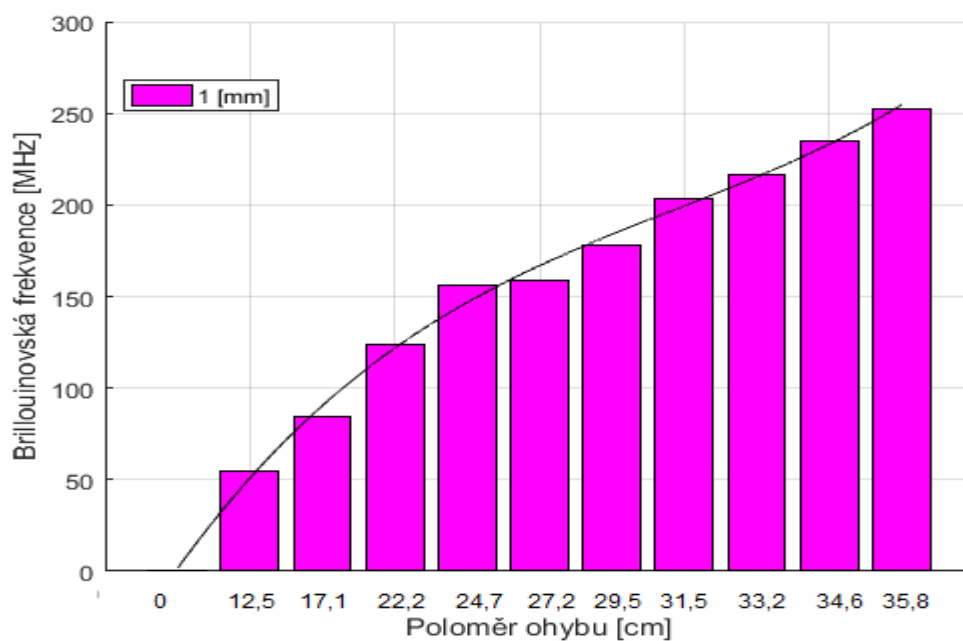


Obr. W.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

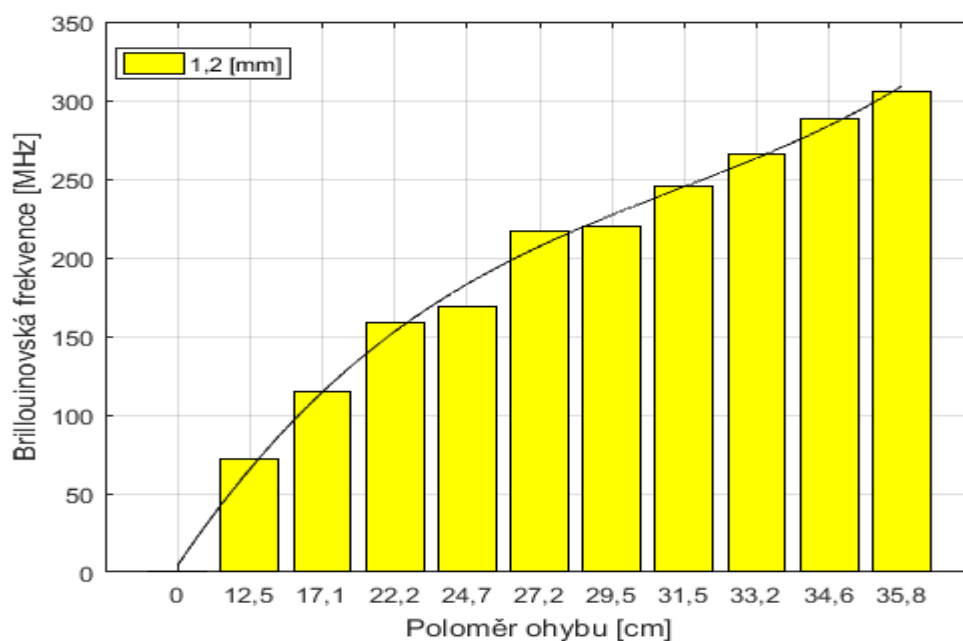


Obr. W.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,5 mm ovál



Obr. W.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



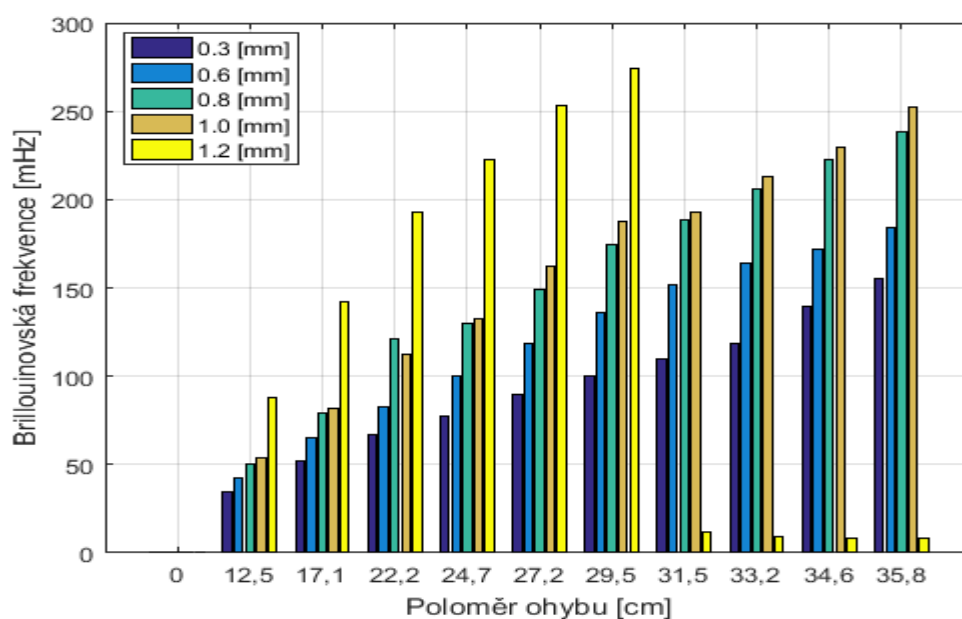
Obr. W.6: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál

Příloha X: *Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál*

Tab. X.1: *Optické vlákno s ID cívky 516220, lepidlo: Mamut Glue, krycí vrstva: 0,2 mm ovál*

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	34,4486	42,7904	50,1056	53,6909	87,8057
17,1	52,4464	65,1755	79,2360	81,6298	142,3721
22,2	66,5426	82,7351	120,7929	112,2117	192,6708
24,7	77,3349	100,0290	129,8685	132,7324	222,8535
27,2	89,3230	118,7882	149,3487	162,1113	253,5486
29,5	100,5740	135,7069	174,1734	187,5725	273,8204
31,5	109,9081	152,1420	188,6334	193,0208	11,4273
33,2	118,7425	164,3996	205,5550	212,5621	9,0227
34,6	139,7462	171,4945	222,2729	229,9957	8,2736
35,8	155,0288	184,2012	238,4543	252,0232	8,3880

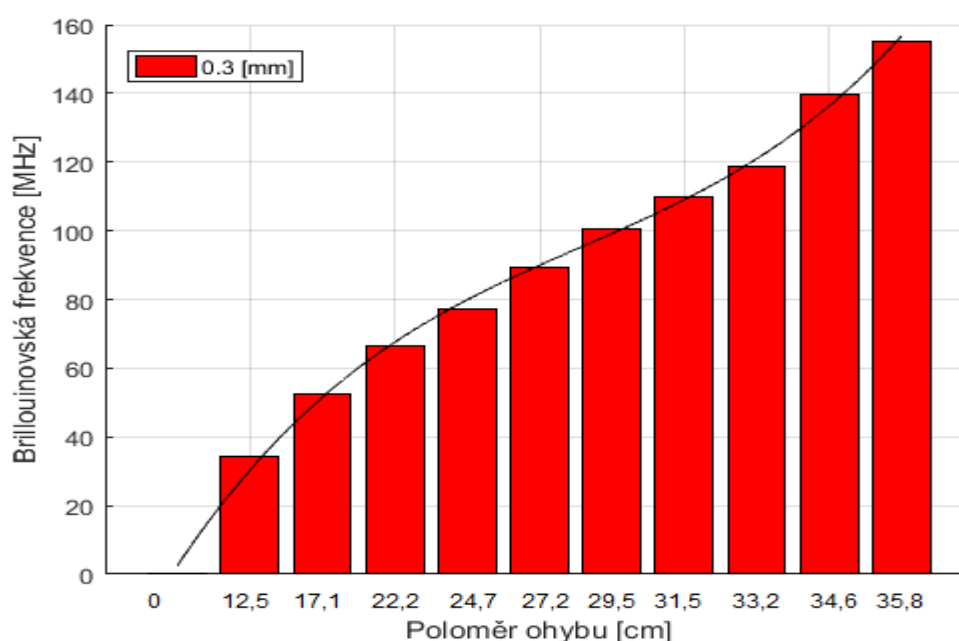


Obr. X.1: *Graf vykreslený z hodnot výše uvedené tabulky. Optické vlákno s ID cívky 516220, druh lepidla: Mamut Glue, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál*

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál

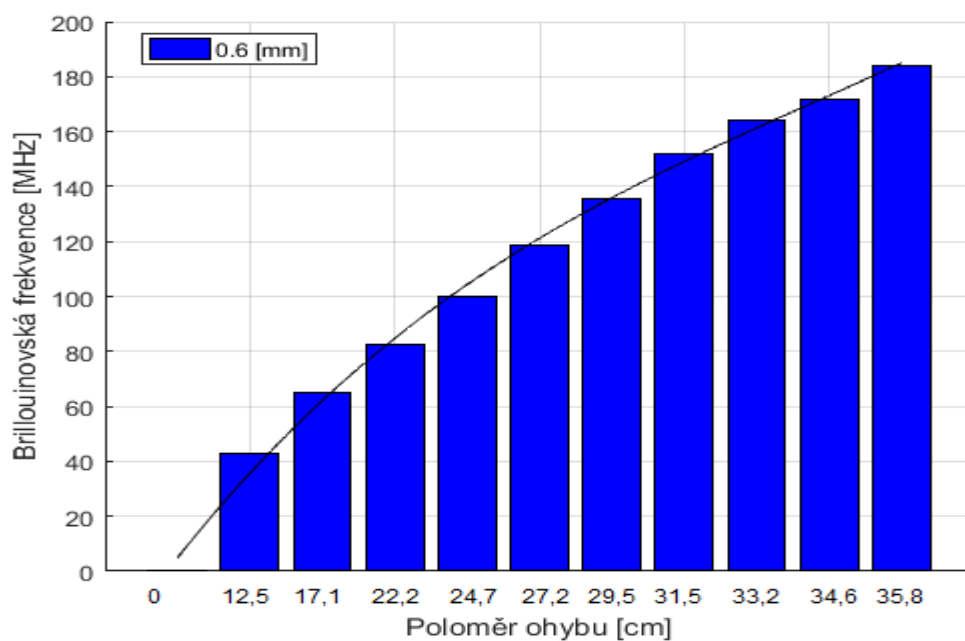
Tab. X.2: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 0,2 mm ovál

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3	0,0045	-0,1736	4,588	-0,5966	0,9933
0,6	0,0014	0,0105	3,0333	0,2328	0,9981
0,8	0,0009	0,0533	3,4675	-0,4723	0,9981
1,0	0,0012	0,0523	3,4435	0,0161	0,9966
1.2	-0,0061	0,3798	3,3755	-0,1031	0,9994

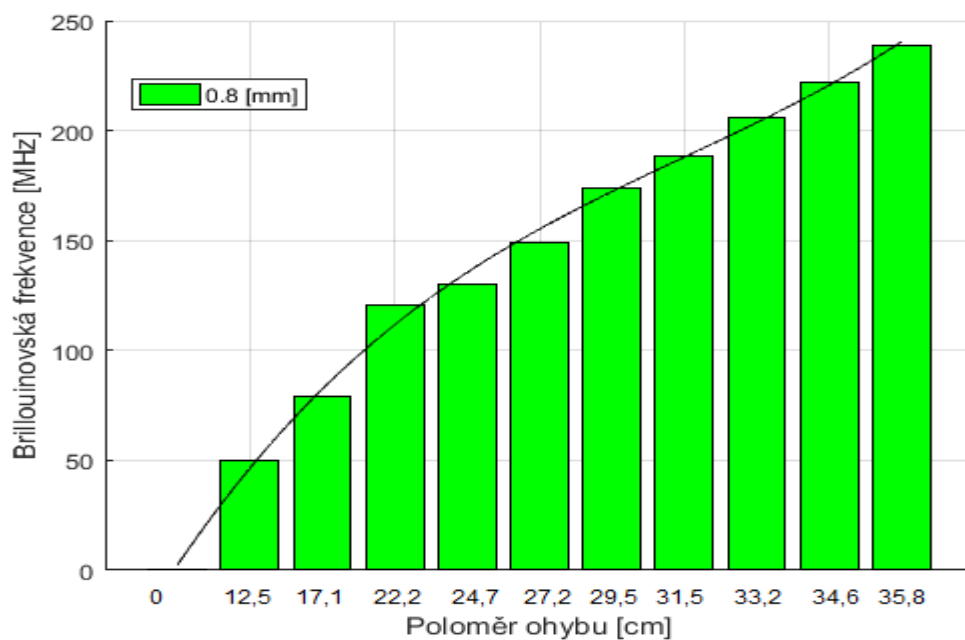


Obr. X.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál

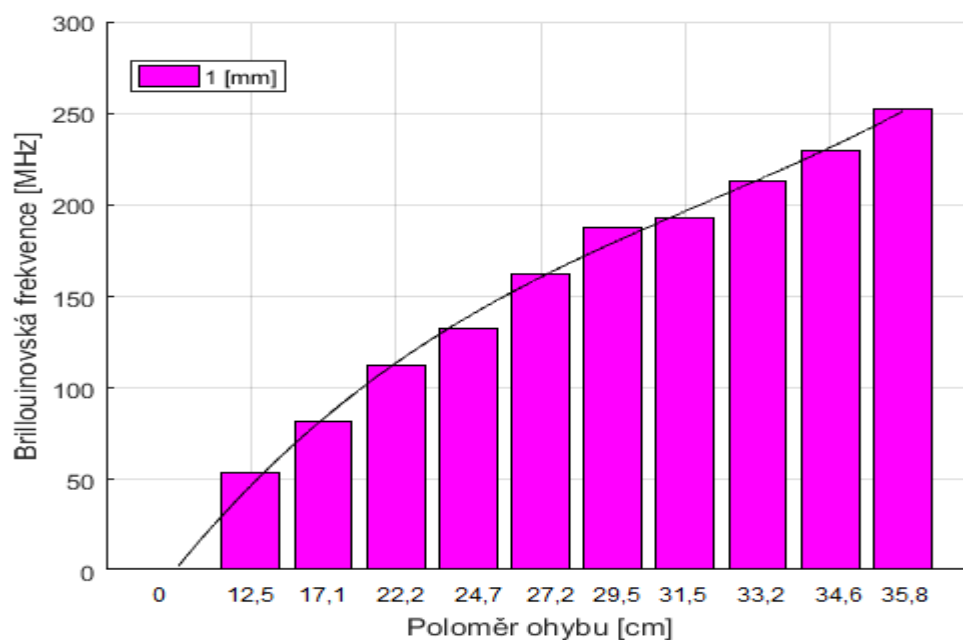


Obr. X.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

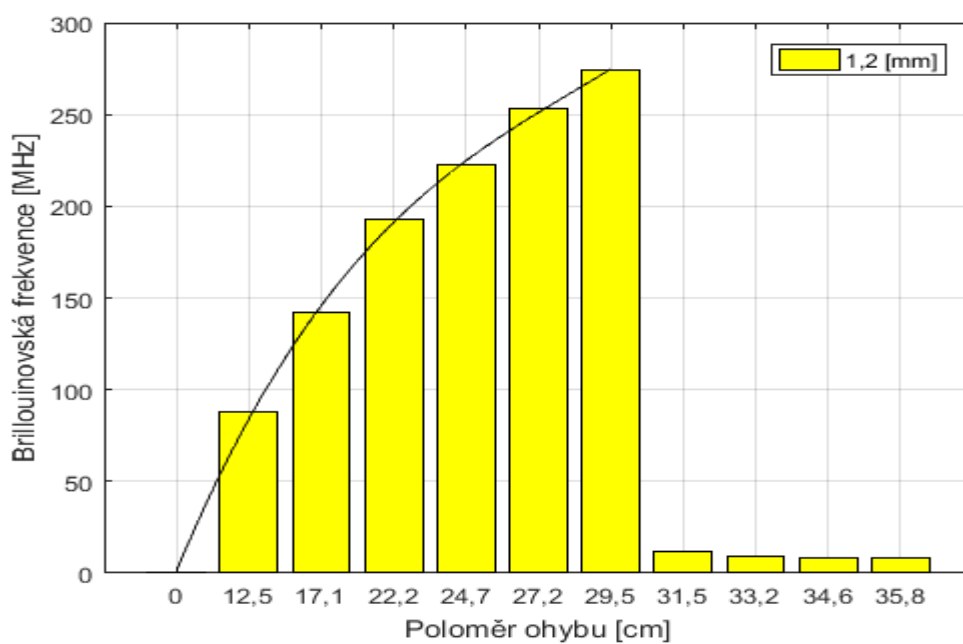


Obr. X.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Mamut Glue, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 0,2 mm ovál



Obr. X.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



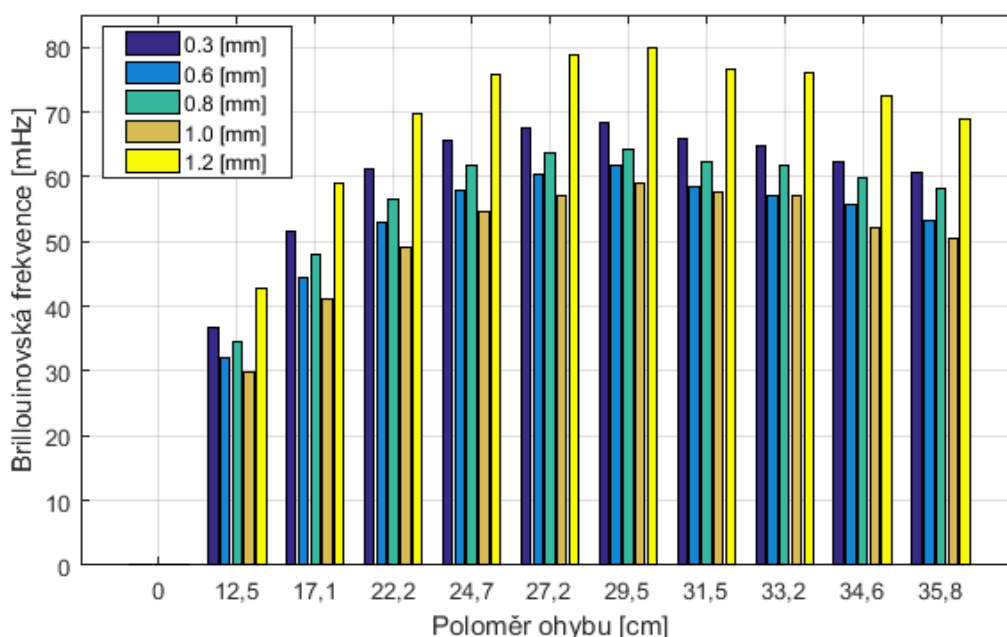
Obr. X.6: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívkou 516220. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník

Příloha Y: *Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívkou 516220. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník*

Tab. Y.1: *Optické vlákno s ID cívkou 516220, lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: trojúhelník*

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	36,7856	32,1498	34,6265	29,7999	42,8224
17,1	51,6734	44,5266	47,9589	41,1973	58,9719
22,2	61,1211	52,9513	56,6464	49,1912	69,6988
24,7	65,4712	57,9991	61,6312	54,5022	75,7241
27,2	67,4043	60,2498	63,6222	57,1866	78,7783
29,5	68,3681	61,7328	64,3473	58,9519	79,8951
31,5	65,8684	58,3696	62,1696	57,6248	76,7322
33,2	64,8646	57,1466	61,7008	57,1022	75,9816
34,6	62,4356	55,7902	59,7014	52,2526	72,4282
35,8	60,5445	53,2725	58,3129	50,5383	68,8791

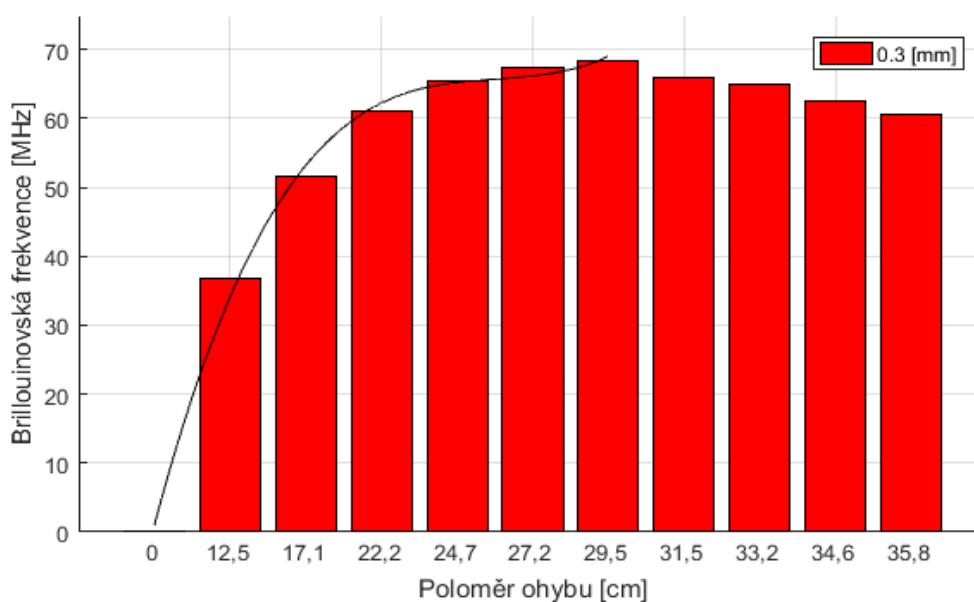


Obr. Y.1: *Graf vykreslený z hodnot tabulky Tab.Y.1. Optické vlákno s ID cívkou 516220, druh lepidla: Hřebíky a šrouby v tubě, tvar krycí vrstvy: trojúhelník*

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník

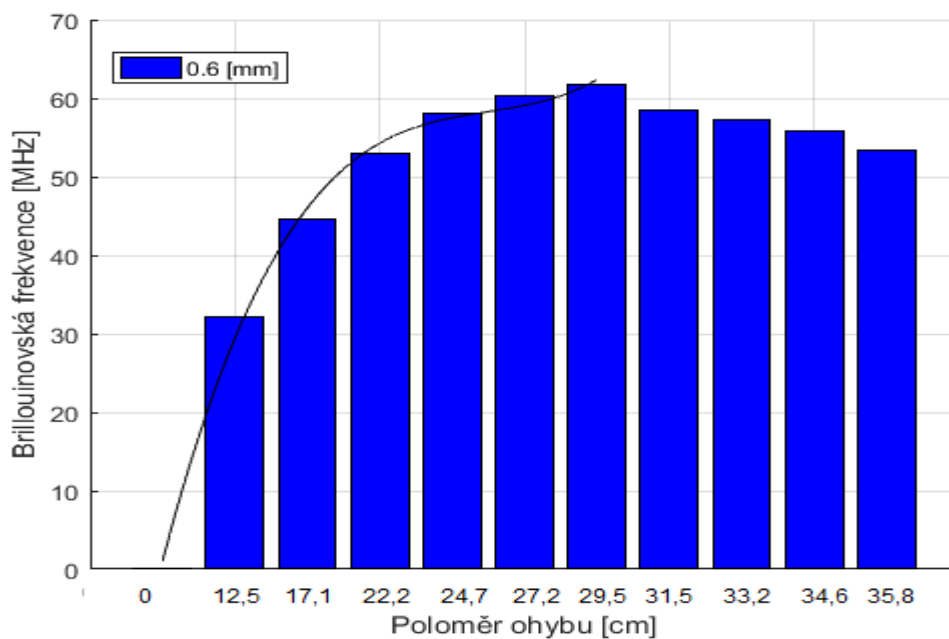
Tab. Y.2: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu trojúhelník

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R ²
0,3	-0,0025	0,0646	2,5819	-0,0464	0,9994
0,6	-0,0016	0,0377	2,3837	-0,0218	0,9994
0,8	-0,0021	0,0506	2,4953	-0,0227	0,9994
1,0	-0,0012	0,0263	2,2665	-0,0144	0,9993
1,2	-0,0022	0,0477	3,2129	-0,0273	0,9994

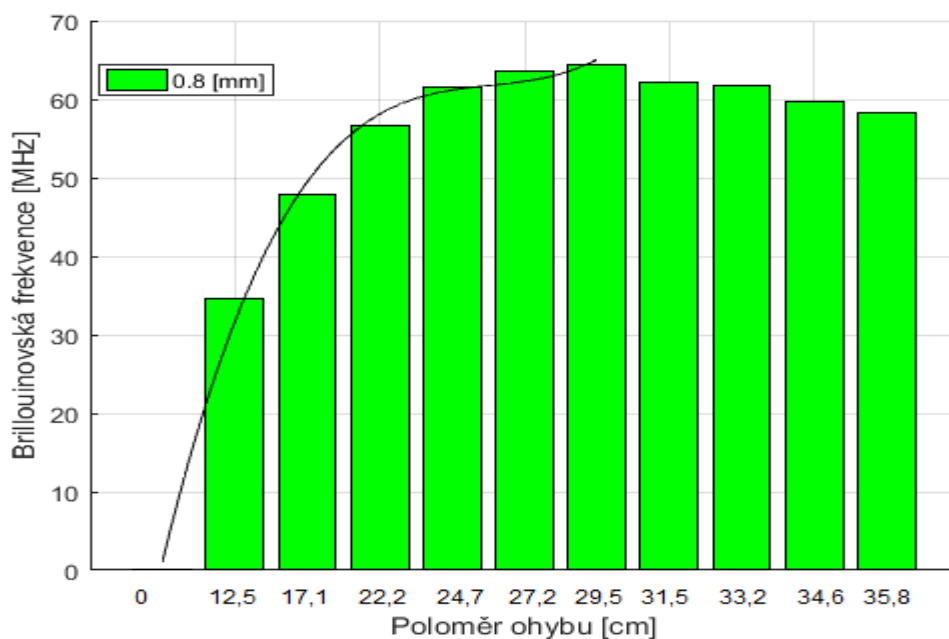


Obr. Y.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník

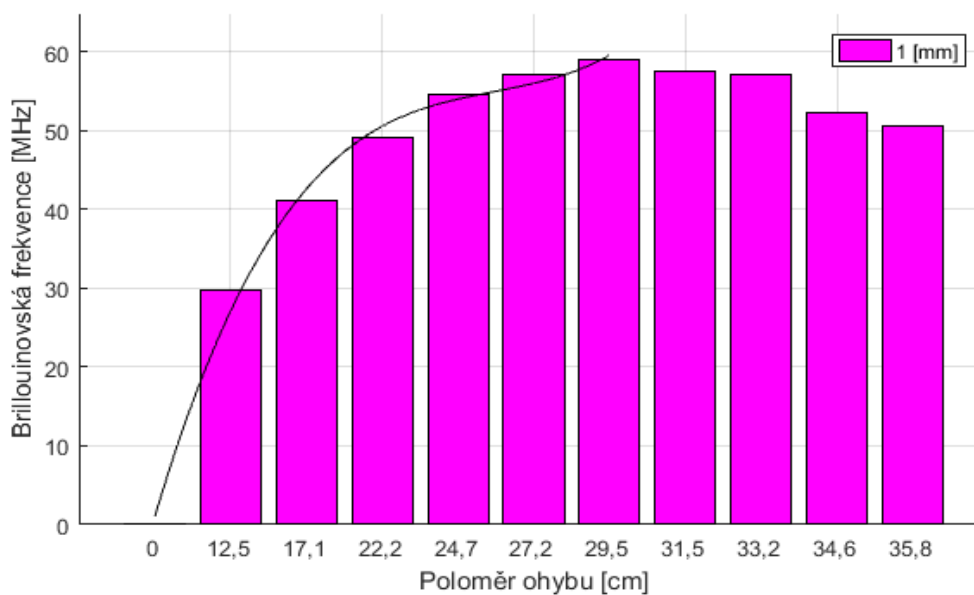


Obr. Y.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

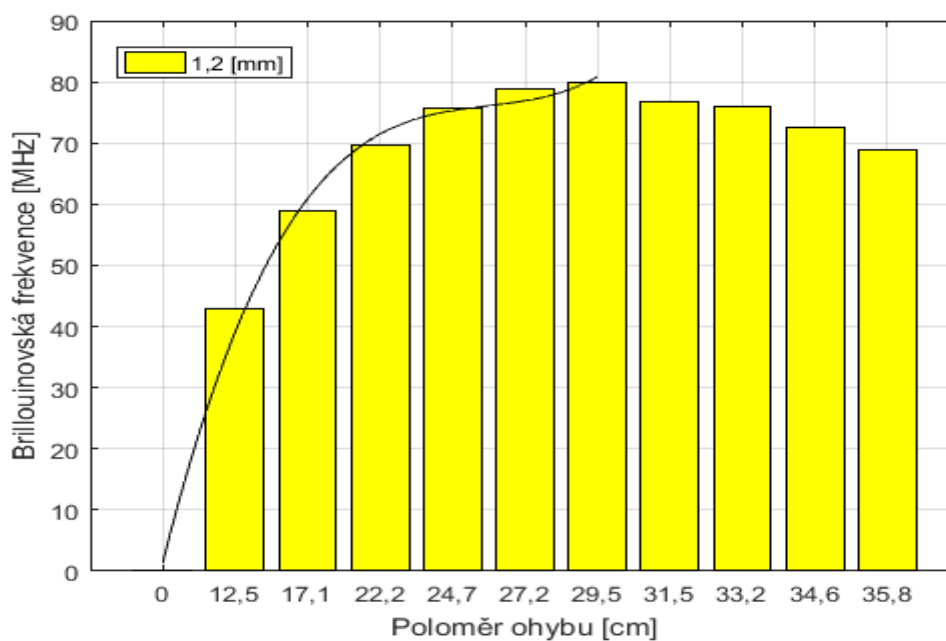


Obr. Y.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: trojúhelník



Obr. Y.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



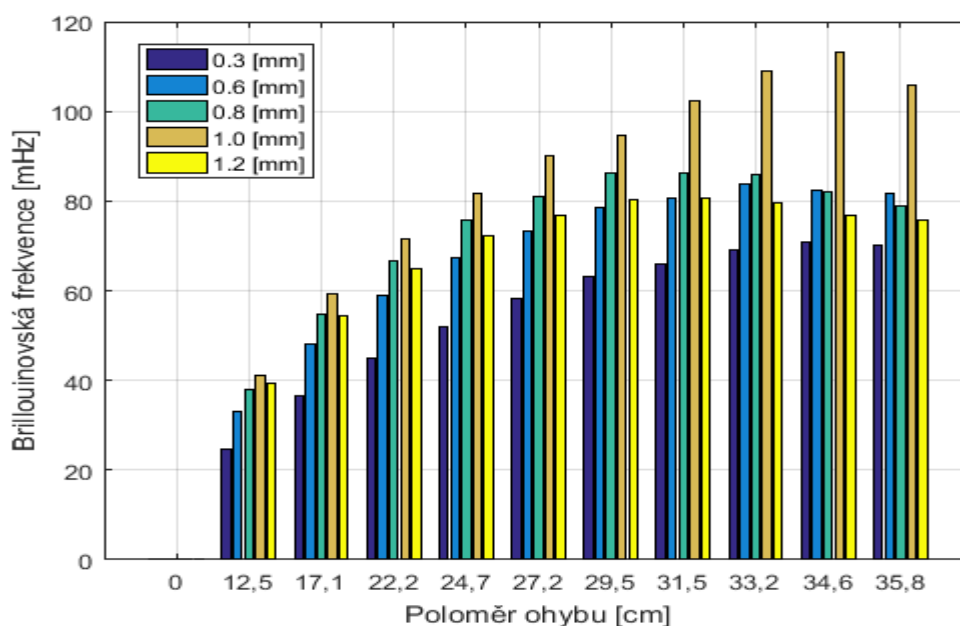
Obr. Y.6: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál

Příloha Z: *Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál*

Tab. Z.1: *Optické vlákno s ID cívky 516220, lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, krycí vrstva: 1 mm ovál*

Poloměr deformace [cm]	Výška podkladové vrstvy [mm]				
	0,30	0,60	0,80	1,00	1,20
	Brillouinovská frekvence [MHz]				
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12,5	24,6024	33,0892	38,1289	41,1282	39,3095
17,1	36,5872	48,0628	54,7943	59,3052	54,3828
22,2	45,0621	59,0458	66,7877	71,6519	65,0134
24,7	52,0267	67,2374	75,5949	81,5992	72,2032
27,2	58,0912	73,4115	81,1563	89,9181	76,9186
29,5	63,1852	78,5875	86,1812	94,6796	80,3423
31,5	66,1025	80,7638	86,1421	102,3671	80,5421
33,2	69,0041	83,6544	85,8774	109,1275	79,4506
34,6	70,7316	82,5467	82,1958	113,0309	76,7193
35,8	70,2386	81,7361	78,8794	105,9723	75,6249

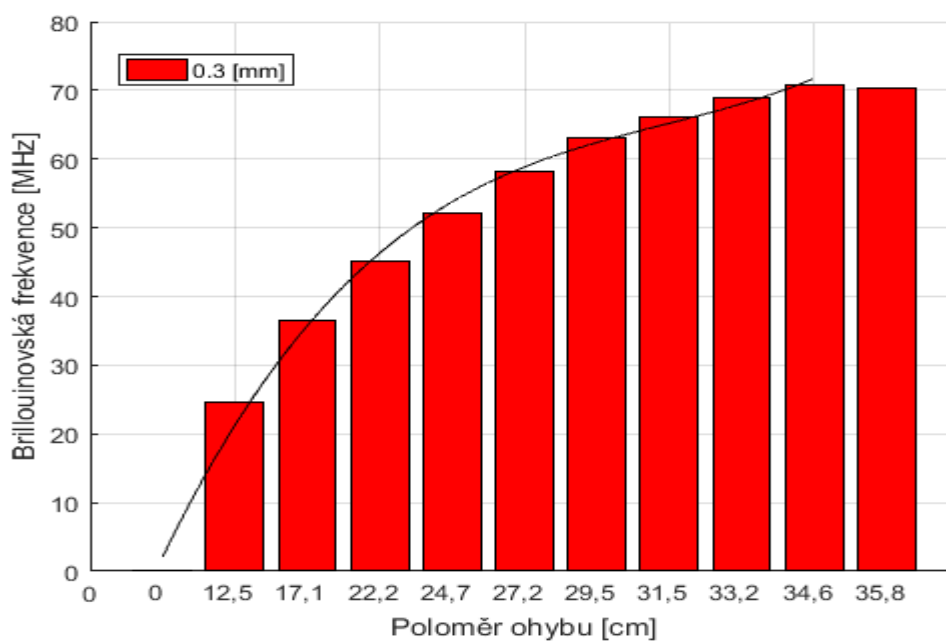


Obr. Z.1: *Graf vykreslený z hodnot tabulky Tab.Z.1. Optické vlákno s ID cívky 516220, druh lepidla: Hřebíky a šrouby v tubě, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál*

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál

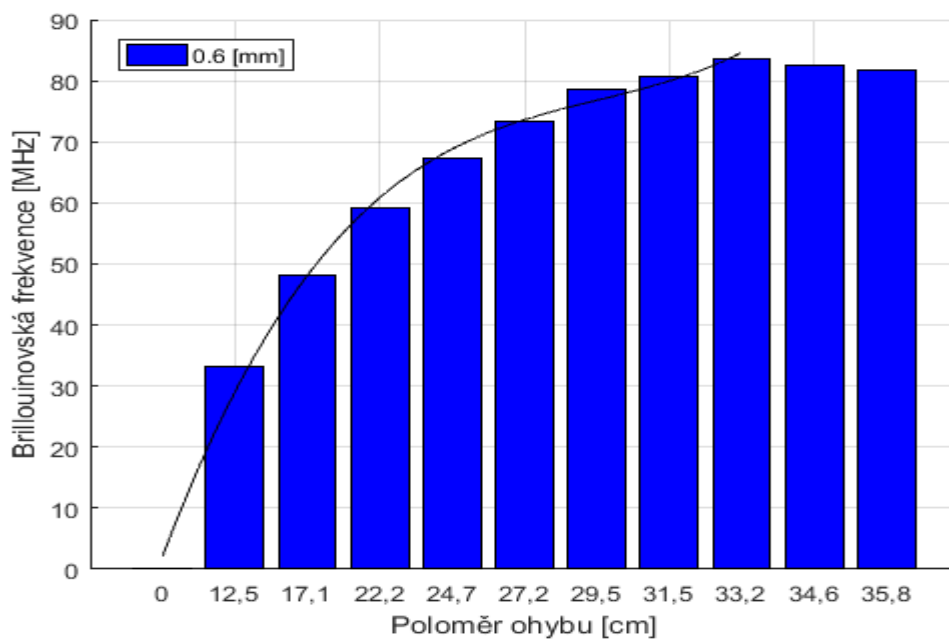
Tab. Z.2: Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti a hodnota koeficientu věrohodnosti R^2 pro krycí vrstvu 1 mm ovál

$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$					
f(x)	Koeficienty v 95 % mezích spolehlivosti				
	p1	p2	p3	p4	R^2
0,3	-0,0008	0,0404	1,6001	0,0307	0,9986
0,6	-0,0013	0,0513	2,2328	0,0045	0,9989
0,8	-0,0011	0,0341	2,8509	-0,0414	0,999
1,0	0,0004	-0,0249	3,6565	-0,1154	0,9988
1.2	-0,0015	0,037	2,9376	0,0104	0,999

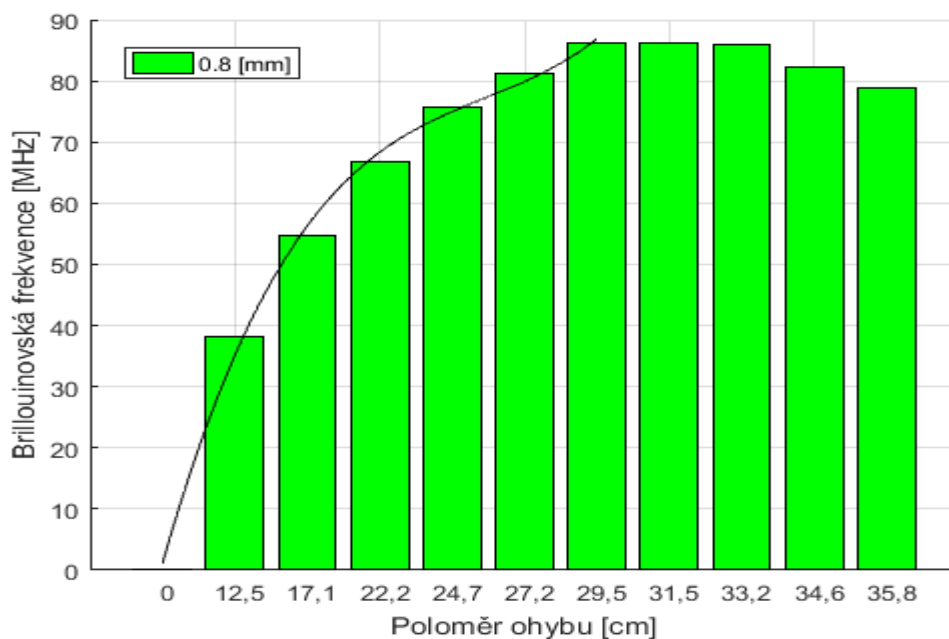


Obr. Z.2: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,3 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál

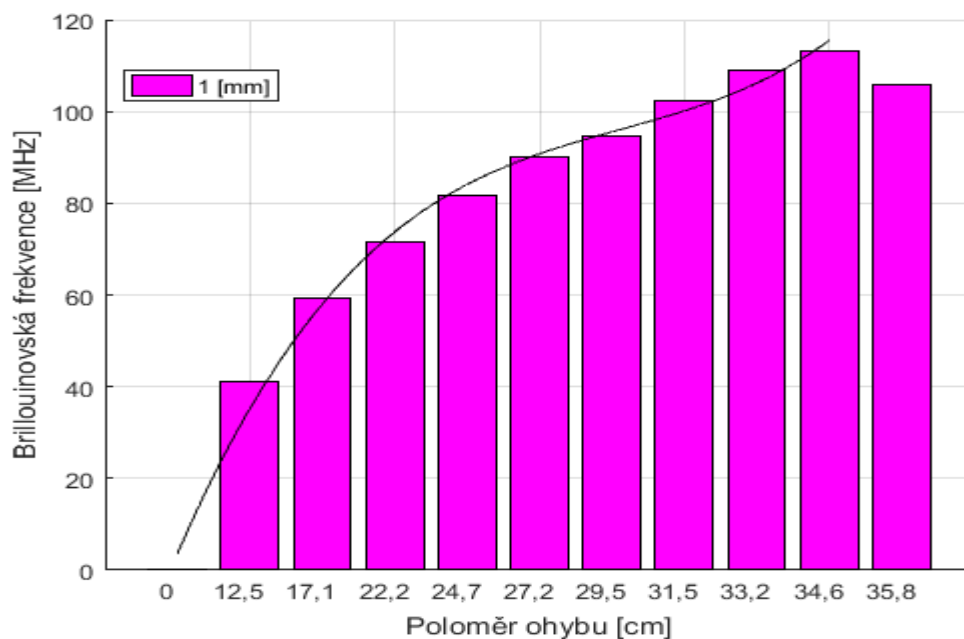


Obr. Z.3: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,6 mm

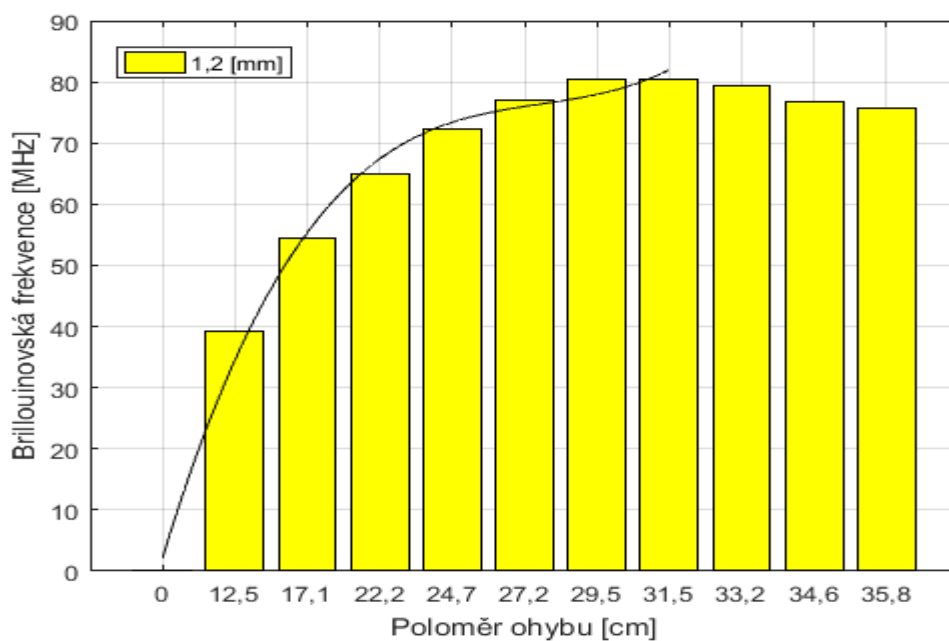


Obr. Z.4: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 0,8 mm

Naměřené hodnoty a grafy pro optické vlákno s ID cívky 516220. Lepidlo: Hřebíky a šrouby v tubě, výrobce: Den Braven, tvar krycí vrstvy: 1 mm ovál



Obr. Z.5: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,0 mm



Obr. Z.6: Graf a regresní křivka podkladové vrstvy 1,2 mm
